الذرة

بيرج. ب. طمسن

ترجمة

د. أحمد الكرداني   د. محمود مختار   محمد خلاف

تقديم

د.جلال مندور

الكتاب: الذرة

الكاتب: بيرج. ب. طمسن

ترجمة : د. أحمد الكرداني – د. محمود مختار – محمد خلاف

تقديم : د.جلال مندور

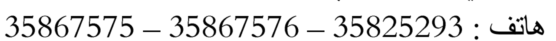
الطبعة: **2018**

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)



5 ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة

جمهورية مصر العربية


هاتف : 35825293 – 35867576 – 35867575

فاكس : 35878373

http://www.apatop.com E-mail: news@apatop.com

دار الكتب المصرية

فهرسة إثناء النشر

نصر، مصطفى

الذرة / بيرج. ب. طمسن / ترجمة : د. أحمد الكرداني – د. محمود مختار – محمد خلاف / تقديم : د.جلال مندور– الجيزة – وكالة الصحافة العربية. **283** ص، **18** سم.

الترقيم الدولى: **978 -977- 446 – 632 – 5**

أ – العنوان رقم الإيداع : **26738 / 2018**

الذرة





نبذة المؤلف

سير جورج باجيت طمسن

ولد عام 1892 وهو الابن الوحيد للسير ج. ج طمسن، العالم الفيزيقي الإنجليزي، وتخرج في جامعة كامبردج عام 1913 في العلوم الرياضية والطبيعية (أو الفيزيقية)، وعين محاضرًا في كلية كرستيفي كامبردج.

وعند ابتداء الحرب العالمية الأولى التحق بالقوات العسكرية عام 1914 والقوات الجوية عام 1915 حيث كان يعمل كباحث في موضوع ديناميكا الغازات، وبانتهاء الحرب عاد إلى كلية كرستي بجامعة ابردين وهناك أجرى بحوثه الهامة في موضوع حيود الإلكترونات في البلورات ومنح من أجلها جائزة نوبل عام 1937.

وفي عام 1930عين أستاذًا للفيزيقيا في الكلية الملكية للعلوم والتطبيقات بجامعة لندن، وفي خلال الحرب العالمية الثانية كان رئيسًا للجنة الطاقة الذرية ونائب الرئيس بمجلس الراديو ومستشارًا علميًا لوزارة الطيران.

وقد منح عدة ميداليات منها ميدالية هيوز عام 1939، والميدالية الملكية عام 1946، كما منحته عدة جامعات وهيئات علمية درجات فخرية. ومنح لقب سير عام 1943.

و قد نشر كتابه عن الذرة لأول مرة عام 19030 ثم أخرج الطبعة الثانية عام 1937 والثالثة عام 1946 والرابعة عام 1954.

مذكرة عن الطبعة الرابعة

1-أضيفت بضع صفحات تتناول المكتشفات الحيثية وبخاصة المتصل منها بالميزونات ثم روجع الكتاب كله. 1954

مذكرة عن الطبعة الثالثة

2- إن اكتشاف الطاقة الذرية قد جعل كثيرًا مما كان يبدو في الطبعتين السابقتين خيالًا بعيدًا جعله أمرًا من أمور السياسة العالمية، وقد أضيفت فصول تناولت هذا التوسع في المعرفة والتجارب الإنسانية وعدّل سائر الكتاب ليتلاءم مع آخر ما وصل إليه العلم.
1946

مذكرة عن الطبعة الثانية

3- إن اكتشاف النيوترونات والبوزيترونات الذي تم بعد الطبعة الأولى لهذا الكتاب جعل من الضروريإضافة فصل يتناول هذه الجسيمات وبعض خطى التقدم التي تمت في طبيعة النوى الذرية، كما عدل سائر الكتاب ليكون متفقًا مع آخر ما وصل إليه العلم.
1937

مذكرة عن الطبعة الأولى

4- كان هدف المؤلف في هذا الكتاب أن يقدم عن الموضوع بيانًا أقرب ما يكون لآخر ما وصل إليه العلم. وقد أفسح مجالًا كافيًا للنظرية الموجية الحديثة في الميكانيكا وبنية الذرة. وهذا يتضمن بالضرورة إيراد بعض آراء لا تزال موضع التجربة ولكن حتى لو تعين أن يعاد النظر في بعضها فإن وجهات النظر الجيدة تبعث روحًا من الإقناع يجعل من المعقول أن نأمل أنها ستكون نهائية في خطوطها الرئيسية على الأقل. والمؤلفمن حيث هو عالم من علماء الطبيعة قد يظن أنه يميل إلى عدم إعطاء النظرة الكيماوية حظها العادل من العرض الكافي ولكنه يرجو على الأقل أن يكون قد أورد من ذلك ما يكفي لحمل القارئ على متابعة ما كتبه عن ذلك الجزء من الموضوع رجال أقدر بحكم تخصصهم على عرضه فيأوفي صورة لجماله.
1930

مقدمة

كان يُعتقد قديماً أن الذرة أصغر جزء في المادة، ولا يُمكن تقسيمها لجزء أصغر منها؛ ولذلك سميت بهذا الاسم، حيث اشتقت من الاسم الإغريقي "أتومس"؛

ولكن فيما بعد تم اكتشاف مكونات الذرة، وأنها تحتوي جسيمات أصغر منها؛ وأنّ كل المواد تتكون من ذرات، كما أثبت "دالتون" في القرن التاسع عشر؛ وقد تكون تلك الذرات أحادية في الترتيب، أو على شكل مجموعات مُتلاصقة تُسمى جزيئات؛ ومجموعة الذرات المتشابهة في الشكل والكتلة والحجم تُشكل العنصر، أما المُختلفة منها فتُشكل المركب. كما تختلف ذرات العنصر الواحد عن ذرات عنصر آخر.

توالت التجارب بشكل كبير لدراسة الذرة، ونفت النظريات والمفاهيم الخاطئة التي كانت سائدة قديماً، ففي عام **1897** م اكتشف العالم "طومسون" الإلكترون ذو الشحنة السالبة، مما أدى لتغيير جذري في الاعتقادات السابقة؛ كما توصل "طومسون" إلى أن الذرة متعادلة كهربائياً، ومُصمتة، وموجبة الشحنة، وتتخللها الإلكترونات السالبة.

وسُمي هذا النموذج باسمه، وأسهم نموذجه في فهم الذرة فهماً جديداً واسعاً؛ لكن في عام **1911** م قدم العالم "راذرفورد" النموذج النووي للذرة، وأثبت وجود النواة؛ حيث افترض أن الذرة كتلتها

صغيرة جداً، ولها مركزاً موجب الشحنة، عالي الكثافة، سُمي بالنواة. والسبب في شحنتها الموجبة وجود البروتونات الموجبة فيها التي تُعبر عن كتلتها. وافترض أن الإلكترونات مُهملة الكتلة، وتتوزع حول النواة في مدارات، كما تتوزع الكواكب حول الشمس، وبما أن الذرة مُتعادلة الشحنة؛ لذا فعدد الإلكترونات حول النواة يُساوي عدد البروتونات بالنواة. ولكن نموذج "راذرفورد" دحض فرضية "طومسون" في أن تكون الذرة مُصمتة، وبين بالتجارب العملية أن مُعظمها فراغ، وحجم نواتها صغير جداً، مقارنة بحجم الذرة كلها؛ كما اعتبر "راذرفورد" أن كتلة الذرة تتركز في النواة؛ لأن كتلة الإلكترونات صغيرة جداً بالنسبة لكتلة البروتونات والنيوترونات في النواة؛ ولكن ثمة إشكالات تخللت النموذج النووي لراذرفورد حيث أن النواة الموجبة تجذب الالكترونات السالبة التي تدور حولها بمسار دائري وبسرعة كبيرة كما افترض فتمتلك بناء عليه تسارعاً مركزياً إلى أن يلتحم مع النواة ويشع أمواجاً كهرومغناطيسية ويسقط فيها.

وبلا شك هذا ليس صحيحاً إطلاقاً. والإشكال الآخر أن يكوّن الإلكترون مع النواة زوجاً مُتذبذباً يدفع الذرة لإشعاع طيف مُستمر، ومُتغير في الطول الموجي، وبخلاف ما أثبتته التجارب العملية؛ أن كل ذرة تشع طيفاً خطياً ذا طول موجي مُحدد يُميزها عن غيرها. لذلك في عام 1913م تم اقتراح نموذجاً آخراً للذرة بواسطة الفيزيائي "نيلز بور"؛ حيث يفترض في نموذجه أن الإلكترونات تدور حول النواة في مسارات دائرية، وبمدارات مُحددة، ولكل مدار طاقته المُحددة، وتستطيع

الإلكترونات الانتقال من مدار إلى آخر، وإذا امتلكت الطاقة الكافية للانتقال؛ فإنها تنتقل من المدار الأقرب على النواة إلى المدار الأبعد عنها، وتفقد جزءاً من طاقتها على شكل إشعاع ضوئي عند الانتقال من المدار الأبعد إلى المدار الأقرب. ولكل مدار منها طاقة مُحددة وثابتة، ويُعبر عنها بأعداد صحيحة تُسمى أعداد الكم الرئيسة.

لقد ساهم نموذج "بور" للذرة في فتح أفق واسعة وجديدة أمام العلماء وأفادهم افتراضه بامتصاص أو انبعاث الذرة للضوء، اعتماداً على طاقة الإلكترون وتحركه من مدار لآخر في قياس كمية الإشعاع المنبعث أو المُمتص من الذرة. والأطياف الناتجة عن ذلك. وكذلك ربط "بور" خواص العنصر بعدد إلكترونات التكافؤ للذرة، وهي إلكترونات المدار الأخير فيها. ولكنّ افتراضات "بور" كانت تشوبها بعض الأخطاء، فقد افترض أن المدارات التي تدور فيها الإلكترونات حول النواة مدارات دائرية؛ ولذلك تم افتراض نموذجاً حديثاً سُمي "النموذج الذري الحديث" افترضت أن البروتونات الموجبة تتركز في النواة التي تُشكل مُعظم كتلة الذرة، ويُحيطها الكترونات سالبة سريعة الحركة، ولها خواص موجية، وتملأ الفراغ حول النواة باحتمالات وجود، كما يُعبر عنها بمعادلة رياضية ودالة موجية؛ بحيث يكون احتمال وجودها فيه أكثر من **90** %.

بعد ذلك أتت نظرية "الكم" لتوضح مكونات الذرة بشكل أدق، وأكثر تفصيلاً وشمولية، مُعتمدة على أعداد الكم للإلكترونات؛ وأنّ

للذرة خصائص مُختلفة منها: العدد الذري، والذي يُمثل عدد البروتونات ونفسه عدد الإلكترونات، والعدد الكُتلي الذي يُمثل عدد البروتونات مُضافاً لعدد النيوترونات.. ولا تزال الدراسات والنظريات لدراسة الذرة مُستمرة إلى الآن.. وبما أنّ الذرّة هي وحدة بناء الكون، فكان ولا يزال أمرها يشغل بال العلماء حتى الآن، ولذلك توجه الكثير من العلماء لدراستها وقاموا بعمل نماذج توضح كيفيه بناء الذرّة، ومن هؤلاء العلماء القُدماء: العالم دالتون، والعالم طومسون، والعالم رذرفورد، والعالم فاراداي، والعالم بور، فما هي الذرّة ؟ وما هي مكوناتها؟

وستتم الإجابة عن هذه الأسئلة في هذا الكتاب الذي بين يديك، والذي كتبه سير جورج باجيت طومسون وهو الذي ولد عام 1892 م، وهو الابن الوحيد للسير ج. ج طومسون، العالم الفيزيقي الإنجليزي، وتخرج في جامعة كامبردج عام 1913 م في العلوم الرياضية والطبيعية (أو الفيزيقية)، وعُين مُحاضراً في كلية كريستي في كامبردج. وعند ابتداء الحرب العالمية الأولى التحق بالقوات العسكرية عام 1914 م؛ ثُم القوات الجوية عام 1915 م حيث كان يعمل كباحث في موضوع ديناميكا الغازات، وبانتهاء الحرب عاد إلى كلية كريستي بجامعة أبردين؛ وهناك أجرى بحوثه المهمة في موضوع حيود الإلكترونات في البلورات ومُنح من أجلها جائزة نوبل عام 1937 م.

في عام 1930 م عُين أستاذاً للفيزيقيا في الكلية الملكية للعلوم والتطبيقات بجامعة لندن، وفي خلال الحرب العالمية الثانية كان رئيساً

للجنة الطاقة الذرية ونائب الرئيس بمجلس الراديو ومستشاراً علمياً لوزارة الطيران.

وقد مُنح عدة ميداليات منها ميدالية هيوز عام **1939** م، والميدالية الملكية عام **1946** م، كما منحته عدة جامعات وهيئات علمية درجات فخرية، هذا بجانب أنه مُنح لقب سير عام **1943** م.

وقد نشر كتابه هذا عن الذرة لأول مرة عام **1930** م ثُم أخرج الطبعة الثانية عام **1937** م؛ والثالثة عام **1946** م؛ والرابعة عام **1954** م ... لذا استمتع بهذا الكتاب الكنز الذي بين يديك فهو إرث علمي مهم يشرح تاريخ الذرة بالتفصيل..

د. جلال مندور

الفصل الأول

إجمال عام

الفكرة الأساسية في النظرية الذرية هي أن الأشياء في نهايتها تتكون من عدد كبير من أجزاء صغيرة جدًا من أنواع محدودة العدد. فهيإذن تعارض المذهب القائل بأن الأجسام قابلة للانقسام إلى غير حد حتى من الوجهة النظرية.

وأساس الفكرة صاغها في القرن الخامس قبل الميلاد يوناني اسمه دمقريطس قد يكون متأثرًا بفليسوف أقدم منه هو ليوسبس.

وقد اتسعت الفكرة ونمت على يد أبيكورس حتى صارت الفكرة الأساسية التي قامت عليها مدرسته في الفلسفة ونجدها مشروحة شرحًا وافيًا في مؤلفات لوكريتيس الرومانيالذي توج هذه النظرية الذرية بتوضيحها في ستة كتب من الشعر. ولسبب لا نعلمه أسدل على هذا النوع من التفكير ستار من النسيان حتى في العصور الكلاسيكية، ولم يعد إلى الظهور إلا فيأوائل القرن التاسع عشر حين بعثه دالتن من مرقده وجعل منه أساس الكيمياء.

ويرجع الفضل في التقدم الباهر الذي أحرزه علم الفيزيقيا خلال السنوات الخمسين الأخيرة إلى التعديلات والإضافات التي طرأت على

هذه النظرية عند تطبيقها في هذا العلم الأخير. وقد تبين أنها لا تنطبق على المادة العادية فحسب، بل كذلك على تلك الكمية الهامة الخداعة المعروفة بالطاقة، وقبل أن ندخل في بحث الحقائق التجريبية التي تقوم عليها هذه الآراء، لعل من الخير أن نورد صورة للخطوط الرئيسية ((لبنية)) المادة كما نراها في عصرنا هذا.

ونعني« بالمادة»في هذا الصدد كيان الأشياء المألوفة في هذا العالم كما تبدو لحواسنا، وبعبارة أخرى كل ما يحس أو يرى أو يشم. وليس من السهل كما سنرى وضع تعريف لها، ولكن حسبنا فيما نريد الفكرة العامة التي يدركها الناس بفطرتهم السوية. فالمادة من هذا النوع تظهر في ثلاث صور رئيسية – جامدة (أو صلبة) وسائلة وغازية – و هيالتي تتجلى في الصور المختلفة للماء: جمد (أو جليد) وماء وبخار، وهذا التمييز بين الصور يمكن اعتباره في هذه المرحلة في المرتبة الثانية من الأهمية. وإذا أخذنا شيئًا ماديًا كقلم الرصاص فمن الواضح أنه يتألف من عدة مواد مختلفة: الجرانيت، والخشب، والطلاء، والغراء، وما غير ذلك.

فإذا ما عمدنا إلى تحليل أعمق بطريقة الكيمياء، تبين أن بعض هذه المواد ذاتها تتكون من خليط من مواد أبسط، ففي حالة الخشب نجد التحليل الكامل عبئًا ثقيلًا حتى على أساليب الكيمياء الحديثة وما لديها من وسائل.

وقد يضطرنا هذا لأن نقنع بما هو أقل دقة من هذا التحليل، ولكننا نعتقد أننا لو أوتينا الكفاية من المهارة والمعرفة لكان في استطاعتنا

تجزئة أي جسم إلى ما يسمى المواد الكيماوية النقية، وهي مواد تكشف دائمًا عن خواص في غاية التحديد والانتظام مهما كانت طريقة الحصول عليها. والمعتقد أن القطعة من أية مادة كهذه تتألف من عدد كبير من أجسام تامة التشابه تسمى الجزيئات وأن كل واحدة من هذه الجزيئات تتركب من عدد محدود من أجسام أصغر منها تسمى الذرات وهذه قد تكون، أو لا تكون، كلها متشابهة في الجزىء الواحد، أما عددها فيه تفاوت من الذرة الواحدة إلى ما قد يصل إلى آلاف كثيرة منها كما هو الحال في بعض الجزيئات المعقدة التي تتألف منها المادة الحية .

ويلاحظ أن لفظ « الذرة»مستعمل هنا للدلالة على معنى خاص إلى حد ما، ولعل لوكوبتيس كان يسمي جزيئاتنا ذرات أنها أصغر الأجزاء الممكنة الوجود لهذا النوع الكيماوي الخاص، كما يعني هذا اللفظ للذرة أيضًا أنها غير قابلة للانقسام، وعندما ابتدعت هذه التسمية لأول مرة كان المعتقد أن ذرتنا هذه أصغر وحدة مستقلة قابلة للوجود بمفردها.

ومع أن المعروف لنا الآن أن هذا غير صحيح، إلا أن هذه التسمية قد استقرت ورسخت أقدامها بحيث لا يمكن تغييرها على الرغم من أنها غير منطقية، وكثيرًا ما نقبل هذه التجاوز وعلى ذلك فنستخدم لفظة ذرة فيما يلي بهذا المعنى الاصطلاحي الخاص.

وقد عُرف أن جميع الأنواع العديدة من المواد النقية كيماويًا، والتي قد عرف منها مئات الآلاف، لها جزيئات يمكن تكوينها باتحاد ذرات يبلغ

عدد أنواعها نحو التسعين ومنها نسبة كبيرة نادرة جدًا لا تكاد تخرج عن كونها تحفًا كيماوية عجيبة. وحين تتألف جزيئات المادة من نوع واحد من الذرات تسمى هذه المادة عنصرًا[1]. فإذا ما دخل في تركيب المادة أكثر من نوع واحد من الذرات سميت مركبًا، فالمعروف لنا إذن في الوقت الحاضر نحو تسعين عنصرًا[2]، و كلنا نعرف أيضًا أن كلًا من هذه الذرات التسعين (أو العناصر) له بنية خاصة ويتألف من ثلاثة مكونات يمكن اعتبارها في الوقت الحاضر بدائية وتسمى الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات، وتحوي كل ذرة في حالتها الطبيعية عددًا محددًا من الإلكترونات (يتراوح بين واحد و94) وعددًا مساويًا له من البروتونات وعددًا من النيوترونات مساويًا لهذا العدد أو لعله أكثر منه فيما عدا الهيدروجين فإن ذرته تحوي بروتونًا واحدًا وإلكترونًا واحدًا.

نستطيع إذن أن نكون للمادة نوعًا من شجرة النسب، فأية قطعة من المادة تتألف من مواد كيماوية مختلفة وكل مادة تتألف من عدد ضخم من جزيئات متشابهة و كل جزىء من عدد محدود من الذرات التي قد تكون على أنواع متعددة. وكل ذرة تتألف من عدد من الإلكترونات والبروتونات. والمعلوم لنا حتى الآن أن جميع الإلكترونات متطابقة بحيث إذا حل أحدها محل الآخر لم نلحظ أثرًا لذلك، ويصدق هذا فيما يظهر على البروتونات أيضًا.

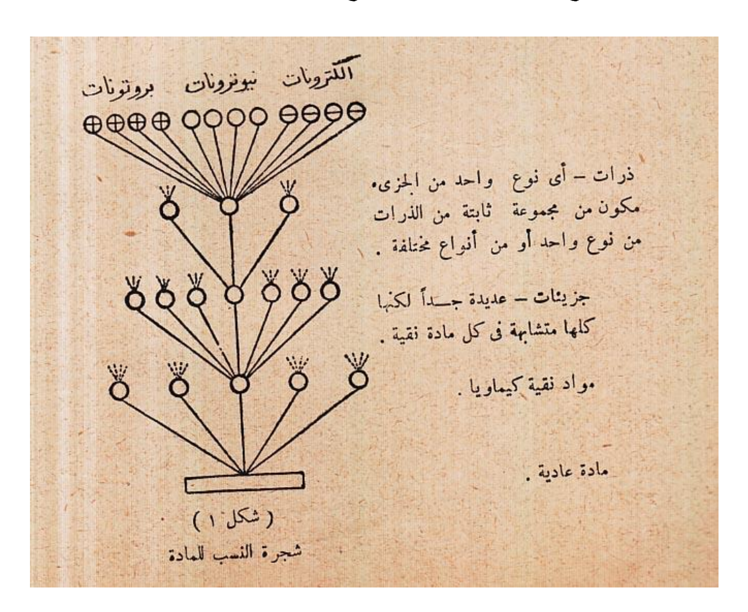
---

(1) تحتاج هذه العبارة إلى شيء من التعليق نظرًا إلى ما بيناه في صفحة (59) وما يليها من تعقيب.

(2) بلغ عدد العناصر المعروفة حتى الآن نحو 102 وذلك بعد إمكان تحضير اليورانيوم منها في المعامل النووية الحديثة . (المترجم).

وأعظم الخواص الأساسية للمادة العادية هي على وجه العموم ما يعرف بالكتلة وهي الخاصة التي ينتج عنهاأن المادة الساكنة تحتاج إلى قوة تدفعها إلى الحركة فإذا ما تحركت احتاجت إلى قوة لإيقافها أو لتغيير اتجاه سيرها.

وكتلة كل جسم على الأرض تتناسب مع وزنه وهو القوة التي تجذبه بها الأرض، لكن بينما هذا الوزن يختلف اختلافًا تامًا إذا كان الجسم على القمر مثلًا، فإن كتلته ملازمة ولا شأن لها بظروفه، ولكل من الإلكترونات ذرات – أي نوع واحد من الجزيء مكون من مجموعة ثابتة من الذرات من نوع واحد أو من أنواع مختلفة.



جزيئات – عديدة جدًا لكنها كلها متشابهة في كل مادة نقية.

مواد نقية كيماويًا – مادة عادية (شكل 1)

والبروتونات والنيوترونات كتلة يكاد يتساوى مقدارها في الأخيرين، أما كتلة الإلكترونات فأخف من نظيرتيها بنحو **1845** مرة، ومن ثم فنصيب الإلكترونات في كتلة أية قطعة من المادة نصيب ضئيل، وتكون هذه الكتلة في معظمها متوقفة على ما فيها من بروتونات ونيوترونات.

وحين نقسم الذرة إلى إلكترونات وبروتونات نلتقي بفكرة جديدة لأن هذين علاوة على ما فيهما من كتلة تساهم في البنية المكونة منهما الذرة، فإن لهما بالاضافة إلى ذلك خواص كهربائية قوية تختفي أو تضمحل كثيرًا عندما يتحدان لتكوين الذرات.

إن تعريف الكهرباء يزداد يومًا بعد يوم استحالة علينا، لأنها على ما يظهر هي الفكرة التي يجب أن نتخذها أساسًا لتفسير كل ما عداها، ومن ثم فكل محاولة لتفسيرها تنتهيبالجدل في دائرة مقفلة. كذلك الحال بالنسبة للقاموس، لابد لنا فيه من بعض كلمات نفترض أن معناها معروف للجميع، وكل ما نستطيع عمله أن نسرد حالات وأمثلة مما تعتبر آثارًا كهربائية ونناقش المسائل بالقياس عليها. فهناك مواد معينة إذا دلك بعضها ببعض اكتسب كل منها القدرة على التأثير في الآخر، وتكوّن هذه القوى المؤثرة تجاذبًا حين يدلك زوج من الأجسام أحدهما بالآخر وتكوّن تنافرًا عندما يدلك جسمان متشابهان كل منهما على حدة بجسم من نوع مخالف لهما. مثل هذه الأجسام المتجاذبة أو المتنافرة يقال إن فيها شحنة كهربائية، كذلك لو أن سلكًا وصل بلوحين معدنيين من نوعين مختلفين مغموسين في سائل مناسب ومكونين لما يعرف بالبطارية الكهربائية، فإن

السلك تظهر فيه خواص معينة. فهو يسخن أولًا ، ويبدو هذا الأثر واضحًا جدًا كلما كان جزء من السلك رفيعًا. كما أنه يكتسب كذلك القدرة على جعل الإبرة المغناطيسية تنحرف إذا وضعت بجواره، ويقال عندئذ إنه يحمل تيارًا كهربائيًا.

ولما كان المعروف أن آثارًا مغناطيسية شبيهة بهذه تحدث من حركة أجسام مشحونة كهربائيًا، فمن المعقول أن نعتبر التيار الكهربائيفي السلك ناشئًا عن حركة شحنات كهربائية فيه وإن لم تظهر لنا أية حركة. وقد تعززت هذه الفكرة بتجارب أخرى.

والآن نلاحظ أن الإلكترونات والبروتونات تحدث هذه الآثار نفسها، فهي إذا تحركت بسرعة أحدثت الآثار المغناطيسية للتيار وحيثما يمتصها جسم لم تكن به من قبل أية مسحة كهربائية فإنها تحدث فيه ظاهرة التجاذب أو التنافر الكهربائي. ومن الطبيعي إذن أن نصفه بأنه مشحون كهربائيًا، لكن يجب ألا يُفهم من ذلك أن هذه الشحنة شيء خارج عن الجسم يضاف إليه كما تضاف مادة عادية، وإنما الأصح أن يقال إن هذه الخواص الكهربية جزء أساسيفي كيانه. وهناك نظرية قديمة خلفت لنا تسمية اعتباطية لهذين النوعين من الشحنة الكهربائية التي تعتري الأجسام، فسمت أحدهما موجبًا والآخر سالبًا. وقد تبين أن البروتون يحوي شحنة كهربية مماثلة للتي يحتويها الجسم الموجب للشحنة بينما يحوي الإلكترون شحنة سالبة، ومن ثم فالإلكترون يتنافران وكذلك البروتونان ولكن الإلكترون والبروتون يتجاذبان.

وإذا تساوت المسافات بين هذه الدقائق فإن التجاذب والتنافر بينهما يتساويان أيضًا في المقدار وينتج من هذا أنه لو وضع إلكترون وبروتون قريبين فإن القوانين التي يؤثران بها على إلكترون آخر أو بروتون آخر على بعد كبير منهما تتعادل. ونعبر عن ذلك بقولنا إنهما يحتويان على شحنات متساوية من النوعين المتضادين، فالشحنتان إذا اجتمعتا تعادلتا أو تلاشتا كما يتلاشى مجموع العددين + 1 و− 1 فاستعمال عبارتي موجب وسالب في هذا الصدد له ما يبرره، لكن الفرق بين الإلكترون والبروتون يتضمن شيئًا أكثر من مجرد الاختلاف في العلامة، فالبروتون مثلًا أدق من الإلكترون بما يزيد على الألف مرة.

والجسم الذي يحوي عددًا من الإلكترونات أكثر مما يحوي من البروتونات يكون سلوكه مشابهًا للجسم المشحون بالكهربية السالبة، أما الذييحوي إلكترونات أقل من البروتونات فإنه يشبه الجسم المشحون بالكهربية الموجبة. ولما كان الشحن الكهربائي يحدث عادة وإن لم يكن دائمًا عن طريق نقل الإلكترونات لا البروتونات فإن الجسم المشحون شحنة سالبة هو الذي يكون قد اكتسب شيئًا بينما يكون الجسم المشحون شحنة موجبة قد خسر شيئًا، فاختيار هاتين العلامتين كان إذن اختبارًا غير موفق لكن هذين الاسمين قد استقرا وتغلغلا وقويت شوكتهما بحيث ضاع الأمل في التفكير في تغييرهما.

الفصل الثاني

الطيف

هناك هناك وسيلة من الوسائل والفحص قد ثبت أنها
فيصورها المختلفة عظيمة القيمة في دراسة الذرات إلى
حد يحتم علينا فيما يظهر أن نورد بيانًا مختصرًا عنها قبل
أن نشرع في إيضاح كيفية الوصول إلى النتائج التي
أجملناها في الفصل السابق،

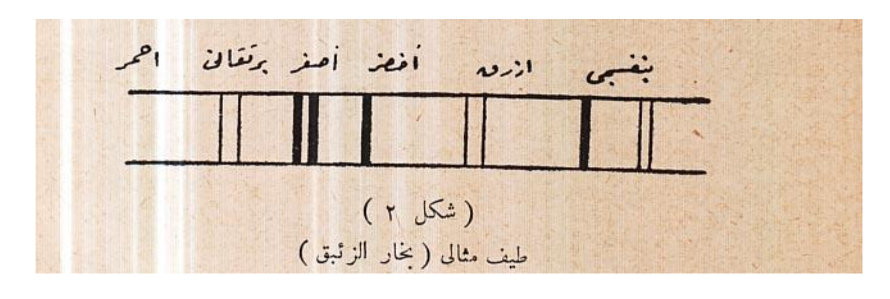
فنحن نعلم أن ضوء الشمس العادي إذا مر من خلال منشور زجاجي استحال إلى سلسلة من الألوان على الترتيب الآتي:

الأحمر فالبرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق فالبنفسجي. و هذه في الواقع هي ألوان قوس قزح الذي يتكون عند مرور الضوء خلال قطرات المطر التي لها أثر مشابه لفعل المنشور. ويسمى مثل هذا الشريط من الألوان الطيف الضوئي، وإذا استعنا بآلة أكثر دقة كالمعروفة لنا بالمنظار الطيفي (أو الاسبكتروسكوب) استطعنا أن نجعل هذا الشريط من اللوان أوضح وأزهى.

وقد اكتُشف في النصف الأول من القرن التاسع عشر أن مصادر معينة للضوء إذا اختبرت بالمنظار الطيفي لا تكشف عن شريط متصل من الضوء بل عن عدد من الخطوط اللامعة تفرقها فواصل معتمة. والخط

الذي يظهر في المنطقة الصفراء من الطيف الشمسي يظهرفي أى طيف آخر باللون الأصفر ذاته وهكذا الحال بالنسبة لبقية الألوان. وقد كان من الاكتشافات البالغة الأهمية ما تبين من أن عدد هذه الخطوط ومواقعها من خصائص المادة المنبعث منها الضوء المختبر، فاللهب الفاقع الصفرة المنبعث من مصباح بترن المسلط على ملح الطعام يكشف عن طيف يتألف من خطين أصفرين متقاربين جدًا، ويرجع هذان الخطان إلى عنصر الصوديوم الداخل في تركيب الملح. وهذان الخطان يظهران حيثما وجد الصوديوم في اللهب في ظروف ملائمة ولايظهران أبدًا في غير هذه الظروف.

وقد اختبرت الأطياف المناظرة لعدد كبير من المواد الأخرى ورصدت في جداول خاصة، وبذلك صار المنظار الطيفي من أنسب الوسائل لمعرفة أي المواد يدخل في تركيب جسم ما، وقد يكون هو الطريقة الوحيدة الممكنة لتحقيق هذا الغرض في بعض الحالات. فعن هذا السبيل مثلًا يتهيأ لنا أن نتحدث عن المواد الموجودة في النجوم. وتكون الأطياف في بعض الأحيان غاية في التعقيد، فطيف الحديد مثلًا يحوي عشرات الآلاف من الخطوط إذا ما استثير بطرق كهربائية مناسبة لتوهجه.



(شكل 2)

طيف مثالى (بخار الزئبق)

(تكون الخطوط في الواقع ملونة على أرضية سوداء بالنسبة للأطياف الانبعاثية، أما بالنسبة للأطياف الامتصاصية فتكون سوداء على أرضية ملونة)

ومهما تكن الحقيقة النهائية عن طبيعة الضوء، فمما لاشك فيه أن سلوكه يتبدى في كثير من الأحوال كتموجات في وسط افتراضي يملأ الفضاء كله، ويطلق عليه اسم الأثير. وهذه الأمواج الأثيرية يختلف بعضها عن بعض كما هو الحال في الأمواج التي تبدو على سطح الماء حيث تختلف فيما يسمى طول الموجة، وهو بالقياس إلى حالة الماء عبارة عن المسافة بين قمتي موجتين متعاقبتين، أو بين قاعيهما. والمفروض أن عمل المنظار الطيفي هو تفريق الأمواج ذات الأطوال المختلفة المكونة للضوء الأصلي إلى ما تتألف منه، فكل موجة ذات طول خاص لها لون محدد، ولا تخرج عملية تحليل الضوء عن الكشف عن الأطوال الموجية الخاصة الموجودة في الضوء المختبر. ومعنى أن لكل مادة معينة طيفًا محددًا هو أن هذه المادة إذا بعثت بضوء كان لهذا الضوء موجات ذات أطوال

محددة، أما ما يشذ عن ذلك فهو ما نسميه الطيف المتصل، كطيف ضوء الشمس مثلًا، أو الطيف المنبعث من أي جسم صلب أو سائل ترتفع درجة حرارته حتى يتوهج. أما الطيف المميز الخاص بمادة معينة فهو في الواقع لا يصدر إلا عن غاز أو بخار.

وإذا مر الضوء المنبعث من مادة ذات طيف متصل خلال بخار ما، فإن هذا البخار قد يمتص من الضوء ذلك النوع الذي كان يبعثه هو لو أنه سخن أو استثير كهربائيًا وعندئذ يظهر في طيف الضوء النافذ من البخار خطوط سوداء على أرضية ملونة. وتبدو هذه الظاهرة في ضوء الشمس نفسه نتيجة لوجود غاز بارد نسبيًا يحيط بكتلة الشمس الصلبة المتوهجة. وإلى موقع هذه الخطوط السوداء (خطوط فراونهوفر) يرجع تعرفنا على طبيعة المواد الموجودة في الشمس. ويسمى مثل هذا الطيف الخطي المعتم "الطيف الامتصاصي" لتمييزه عن الطيف الخطي الساطع أو الانبعاثي.

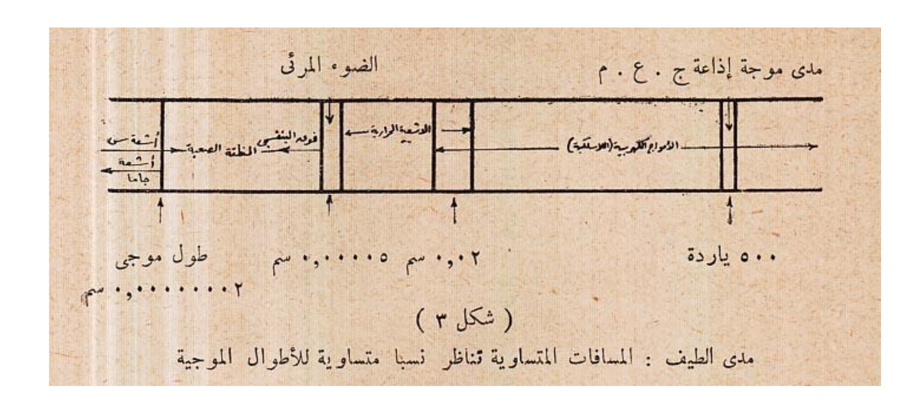
وتتكون الأطياف أيضًا إذا استخدمنا بدلًا من المنشور قطعة من الزجاج خطت عليها عدة خطوط دقيقة متقاربة غاية التقارب، ويطلق عليها اسم المحزوز. وإنتاج مثل هذه المحزوزات،التي تبلغ درجة الدقة فيها نحو **15000** خط في البوصة الواحدة، قد أصبح الآن أمرًا ميسرًا وذلك بفضل عبقرية أحد علماء الفيزيقيا وهو الأستاذ رولاند الذي أجرى بحوثًا كثيرة في هذا الموضوع فيالعقد التاسع من القرن الماضي. وللمحزوز، علاوة على ما يحدثه من طيف أدق وأسطع، ميزة أخرى على المنشور هي

أنه يمكننا من مقارنة الطول الموجي لكل ضوء يظهر في أي جزء من الطيف بالمسافات التي بين الخطوط المتتالية على المحزوز، وبذا نقيس بالفعل الطول الموجي لهذا الضوء.

وقيم الأطوال الموجية التي حسبت بهذه الطريقة صغيرة جدًا، إذ تبلغ نحو $\frac{2}{100000}$ من البوصة للضوء الأخضر. والضوء الأحمر هو أكبر موجات الضوء العادي طولًا، كما أن الضوء البنفسجي هو أقصرها. وقد عرف منذ بعيد أن هناك إشعاعات تتجاوز نهايتي طيف الضوء المرئي. و الواقع أن ما نسميه ضوءًا ليس إلا جزءًا صغيرًا تحسه أعيننا من مدى واسع من الإشعاعات المتشابهة في طبيعتها و المختلفة إلى حد كبير في طولها الموجي. أما ما يخرج عن هذا الجزء الصغير فيمكن اعتباره ألوانًا غير مرئية. وأطول هذه الموجاتهي الموجات اللاسلكية التي أصبحت معروفة للجميع والتي تتراوح أطوال موجاتها فيما بين آلاف من الياردات وكسر من البوصة، وهذه الأخيرة لا تزال حبيسة معامل البحث، ثم يلي ذلك مدى واسع من الموجات التي تسمى أحيانا إشعاعات حرارية، وإن كانت كل هذه الموجات المختلفة تسبب في الواقع حرارة تمتص. ويطلق على تلك الأشعة أحيانًا اسم الأشعة دون الحمراء. ثم يأتي بعد ذلك الطيف المرئي ويليه طيف الإشعاعات فوق البنفسجية تلك الأشعة التي اشتهرت أخيرًا بين الناس بسبب قيمتها العلاجية. ثم يأتي بعد ذلك مدى من الأشعة لم يكتشف كنهها إلا حديثًا جدًا بسبب الصعوبة العملية التي تنشأ من امتصاصها بقوة شديدة في جميع المواد، بما في ذلك الهواء بحيث لا يمكن دراستها إلا في فراغ يكاد يكون تامًا. ثم تأتي الأشعة السينية (أو

أشعة X أو أشعة رونتجن) التي تبلغ أطوال موجاتها حوالى $\frac{1}{10000}$ من أطوال الموجات المرئية. ثم يلي ذلك إشعاعات خاصة من الراديوم والمواد الشبيهة به وهي المعروفة بأشعة جاما.

وأخيرًا كاد يثبت لنا الآن أن الأشعة المعروفة بالأشعة الكونية، وهي نوع من النشاط القادم إلينا من أعماق الفضاء، تحدث في الجو إشعاعات جامية طول موجاتها أقصر حتى من أشعة جاما الراديومية،غير أنه لا يمكن الاستدلال عليها إلا بطرق غير مباشرة، أما الأطوال الموجية للأشعة السينية فيمكن تعيينها بدقة كبيرة بطريقة سوف نشرحها فيما بعد، و هي طريقة كانت لها أهمية بالغة في إماطة اللثام عن قدر (أو حجم) الذرة وبنيتها.



(شكل 3)

مدى الطيف: المسافات المتساوية تناظر نسبًا متساوية للأطوال الموجية

وعلى الرغم من أنه ليس هناك فرق جوهري بين الأشعة السينية والإشعاعات الأخرى التي على جانبيها في الطيف، فإن الدور الخطير الذي لعبته هذه الأشعة في علم الفيزيقيا الذرية يجعلها جديرة بشيء من التفصيل هنا.

وفي الحق أن الاكتشاف الأصلي للأشعة السينية على يدي رونتجن عام **1895** قد يكون أنسب تاريخ لبدء الدراسة الحديثة للذرات. ولقد كان الاكتشاف فيما يظهر على سبيل المصادفة إلى حد ما. ففي أثناء البحث عما قد يكون هناك من إشعاعات غير مرئية غلف رونتجن في ورقة سوداء أنبوبة محتوية على هواء منخفض الضغط إلى حد كبير، وقد لاحظ حين مر تيار كهربائي فيه أن نورًا شديدًا سطع على لوحة مغطاة بطبقة من مادة فلولارية تصادف وجودها على منضدة بمقربة منه. ومثل هذه اللوحة وإن كانت حساسة للضوء فوق البنفسجي العادي، إلا أن مثل هذا الضوء لا يمكن أن ينفذ من خلال الورق الأسود المغلف لها، ولذا أدرك رونتجن في الحال أنه قد اكتشف إشعاعًا جديدًا.

وسرعان ما أدى البحث إلى أن هذا الإشعاع يمكن أن يلقي ظلًا لأي جسم يعترض طريقه من الأنبوبة إلى حائل فلوري. وقد اقتفى مصدر هذه الأشعة فوجد أنها تنبعث من مكان ما في أنبوبة التفريغ حيث تصطدم أشعة الكاثود أو الشعة الكاثودية بجسم جامد أو صلب.

وقد تبين في الحال من الظروف التي أحاطت باكتشاف الأشعة السينية أنها تتميز بالخاصة التي أصبحت في الوقت الحاضر علمًا عليها،

وهي النفاذ من خلال مواد معتمة لا يستطيع الضوء العادي النفاذ منها، ثم تبين بعد ذلك أن شفافية أي جسم أو عدم شفافيته تتوقف قبل كل شيء على كثافته، ومعنى ذلك أن زجاج الأنبوبة نفسها لابد وأن يكون قد حال دون نفاذ قدر من هذه الأشعة أكبر مما حال دون نفاذه الورق الأسود الذي غلفت به الأنبوبة.

وهذه القدرة على النفاذ مع الاختلاف في التمييز هيالتي جعلت لهذه الأشعة قيمتها العظيمة في الجراحة، وذلك لأن الأجزاء اللحمية من الجسم، و هي الخفيفة نسبيًا، تكاد تكون شفافة بالنسبة للأشعة، بينما العظام، وهي أكثف بكثير من اللحم، تلقي ظلالًا سوداء على اللوحة. وبالإضافة إلى ذلك فقد وجد أن بعض الخواص الأخرى لهذه الأشعة أعظم أهمية مما ذكر وذلك بالنسبة إلى علم الفيزيقيا، فهذه الأشعة مثلا لها من القدرة مما يجعل الهواء الذي تمر من خلاله موصلًا جيدًا للكهرباء لفترة من الزمن.

فالهواء في الظروف العادية يمكن أن يقال إنه يبدي أكبر المقاومة لمرور التيار الكهربائي فلا يسمح لشيء منه بالمرور إلا إذا أصبحت القوة الكهربائية من الشدة بحيث تسبب حدوث شرارة أو ومضة مصغرة من البرق.

وعلى الرغم من أن الأشعة السينية لم تكن الوسيلة الوحيدة المعروفة في ذلك الحين لجعل الهواء موصلًا جيدًا للكهرباء، لكنها كانت أنسب الوسائل على الإطلاق. وقد يسر اكتشافها سلسلة من البحوث

الطويلة التيأجريت عن مرور الكهرباء خلال الغازات، تلك البحوث التي ساهمت مساهمة فعالة في حل ما تعقد من العلاقات التي بين الكهرباء وبين المادة العادية.

الفصل الثالث

الذرة في الكيمياء

أشرنا في الفصل الأول إلى الفارق الأساسي بين العناصر والمركبات، ويظهر أن أول من تعرف عليه أيرلندي نابه هو روبرت بويل، أحد الأعضاء المؤسسين للجمعية البريطانية الملكية،

والذي وصفه أحد معاصريه بأنه أبو الكيمياء، فهذه التفرقة إذن ترجع بتاريخ بدء النظرية الذرية الحديثة إلى أعمال دالتن التي نشرت عام **1803**. أما العناصر التي لعبت دورًا كبيرًا في فلسفة اليونان والعصور الوسطى وفي نظريات الكيماويين العرب، فالظاهر أنها تشير لأول وهلة إلى ما نسميه الآن "المادة"، وهي كما عُرفت في ذلك الحين التراب والنار والهواء والماء، ولكنها في الواقع كانت معتبرة بمثابة صفات للأجسام أكثر منها بمثابة مادة تتكون منها هذه الأجسام.

وإلى عهد لافوازييه،الذي كان إعدامه بغير مبرر من أشنع أخطاء الثورة الفرنسية، لم تكن أهمية الوزن في مجال الكيمياء قد أُدركت تمامًا. ولم تكن قد أُدركت كذلك فكرة تكون الجسم من عناصر مجموع أوزانها يساوي بالضبط وزن الجسم المكون منها، وينتج من هذه الفكرة أنه إذا كانت هناك مادة يزداد وزنها دائمًا عقب أي تفاعل كيماوي يعتريها،

فلابد وأن تكون عنصرًا، أما إذا نقص وزنها على أثر تفاعل كهذا فلابد وأن تكون مركبًا تحلل إلى عناصره أو استحال إلى مركب آخر أخف وزنًا. لكن هذه القاعدة كما أدرك لافوازييه تمامًا، ليست كافية وحدها، إذ أن هناك دائمًا الاحتمال الآخر وهو أن ما نظنه عنصرًا أحيانًا ليس في الحقيقة إلا مركبًا عنيدًا يتحدى كل الجهود التي تبذل لتفتيته. وقد كان بعض ما ورد بقائمة لافوازييه من العناصر في الواقع مركبات من هذا النوع.

وباستخدام الفرض الذري، صاغ دالتن فكرة وجود كل من الجزيئات والذرات بطريقة قريبة جدًا مما ذكرناه فيما سبق، وقاده ذلك في الحال إلى وضع قوانين معينة لابد أن تصدق إذا كان الفرض الذري صحيحًا، كما أنه يمكن اختبار صحتها بالتجارب العملية، فمثلًا إذا صح أن إحدى المواد تتألف من جزيئات كلها متشابهة، ومن ثم يحتوي كل من هذه الجزيئات على عدد واحد من ذرات من نوع واحد، فلابد أن هذه المادة، مهما كانت الطريقة التي تكونت بها، تحوي دائمًا العناصر المكونة لهابنسبة وزنية ثابتة، وهذا ما يسمى قانون النسب الثابتة. ثانيًا إذا وجد مركبان من عنصرين بالذات فإن النسب الوزنية للعنصرين في المركبين لابد أن تكون بينها علاقة بسيطة، ويمكن توضيح ذلك بتتبع المثل التالي من أمثلة دالتن نفسها. هناك غازان كان دالتن يعتقد بحق أنهما مكونان من نفس عنصري الكربون والأكسجين ويتكون جزيئًا المركبين في الواقع للمركب الأول من ذرة من الكربون وذرة من الأكسجين، وفي المركب الثاني من ذرة من الكربون وذرتين من الأكسجين، ومن ذلك ينتج أن

الثانييحوي من الكسجين ضعف ما يحويه الأول بالنسبة لكربونه، ويصدق هذا القول مهما كانت قيمة الوزنين الذريين للكربون والأكسجين، ولو أنه حدث أن الأول يحتوي من الكربون على ذرتين ومن الأكسجين على ذرة واحدة لكانت النسبة 4 إلى 1 بدلًا من 2 إلى 1، ومن ثم فإن الوزنين المختلفين للكربون الذي يتحد مع 100 جرام مثلا من الأكسجين لتكوين المركبين اللذين نحن بصددهما، لابد أن تكون بينهما علاقة كالتي بين العددين الصحيحين، وهذا هو المعروف بقانون النسب المتضاعفة.

وفي النهاية أعلن دالتن قانونًا أشد تعقيدًا وهو قانون النسب المتبادلة الذي يمكن توضيحه في أبسط الحالات كما يلي: إذا فرض أن العناصر ا، ب، ج يمكن أن تتحد أزواجًا بحيث تكون مركبات تحوي جزيئاتها في كل حالة ذرة واحدة من أي منها "ا ب" أو"ب ج" أو"ج ا" وأن الوزن الذريلكل منهما هو اَ و بَ و جَ فإن $\frac{\text{اَ}}{\text{بَ}} \times \frac{\text{بَ}}{\text{جَ}} = \frac{\text{اَ}}{\text{جَ}}$ ومن هذا ينتج أن النسبة بين وزني ا ، جـ المتحدين في المركب ا جـ يمكن معرفتها بضرب النسبة التي يتحد بها وزنا ا و ب في المركب اب،في النسبة التي يتحد بها وزنا ب و جـ المركب ب جـ .

ولن يجد القارئ صعوبة في أن يقنع نفسه عن طريق الحساب البسيط أن مثل هذه النتيجة تصدق أيضًا على الحالات الأكثر تعقيدًا، حيث تحوي الجزيئات أكثر من ذرة واحدة من كل عنصر بشرط أن

يراعيفي إجراء العملية الحسابية الضرب في النسبة العدديةالمتوقفة على عدد الذرات المختلفة الموجودة في الجزيئات المختلفة.

وقد كانت بعض تطبيقات هذا القانون قد اكتُشفت بالفعل في بعض التجارب التي تشمل تفاعلات بين أحماض وقلويات، لأن دالتن كان أول من فسر أهميتها النظرية. وقد حققت صحة القوانين بعد ذلك بالنسبةلعدد من المركبات، وكان ذلك بدقة بالغة جدًا في بعض الحالات، ولم يعثر على استثناءات محددة من أي نوع، ومع ذلك يجبأن نلاحظ أن العلاقات بين النسب التي تتحد بها العناصر المختلفة لا تكون "بسيطة" (أي بنسبة أعداد صحيحة صغيرة) طبقًا للنظرية الذرية إلافي الحالات التي يكون فيها عدد الذرات التي نحن بصددها صغيرًا، أما في حالة بعض المركبات العضويةالمعقدة فلا ينطبق هذا،لكن النسب على كل حال تكون دائمًا متفقة مع المعقدة فلا ينطبق هذا، لكن النسب على كل حال تكون دائمًا متفقة مع ما يُنظر لها إذا راعينا ما يحتمل أن يكون عليه التركيب الذري للجزيئات كما يستنتج من طريقة تركيبها من مواد أكثر بساطة ومن خواصها الكيماوية الأخرى. فالقوانين إذن يجب اعتبارها صحيحة من الناحية التجريبية وهيفي الواقع تعتبر الأساس الذي بُني عليه كل تقدم كيماوي حدث بعدها.

وهناك مسألة درسها دالتن بعناية فائقة وهي إيجاد الأوزان النسبية لذرات مختلف العناصر. و لو أن جميع المركبات كانت تحتوي جزيئاتها على واحدة من كل عنصر أساسي فيها لكانت هذه المسألة سهلة، إذ أن

الأوزان النسبية للذرات كانت تصبح ببساطة الأوزان النسبية للعناصر التي تكون المركب من اتحادها. لكن مجرد وجود قانون النسب المتضاعفة يدل على أن هذا لا يصدق دائمًا وعندما يتحد عنصران مثلًا فيكونان عدة مركبات فليس هناك ما ينبئ بمجرد النظر أي هذه المركبات، إن كانت له وجود، يحتوياجزيء الخاص به على ذرة واحدة فقط من كل من العنصرين.

والواقع أن عملية إيجاد الأوزان النسبية للذرات على وجه التحديد شغلت الكيماويين ما يقرب من ستين عامًا بعد تاسيس نظرية دالتن، بل الواقع أنه في بعض الحالات قد امتدت فترة التشكك في هذه الأوزان النسبية إلى أبعد من ذلك. ولنورد مثلًا معينًا بالذات لهذه الصعوبة: كان دالتن يعتقد أن جزىء الماء يحتوي على ذرة من الهيدروجين وذرة من الأكسجين، ولو أن هذا كان يمثل الحقيقة لكان وزن ذرة الأكسجين ثمانية أمثال وزن ذرة الهيدروجين لأن وزن الأكسجين الذي يتحد بوزن معين من الهيدروجين يساوي ثمانية أمثال الأخير. والذي نعرفه الآن هو أن جزىء الماء يحتوي على ذرتين من الهيدروجين وذرة الأكسجين ومن ثم كان وزن ذرة الأكسجين قدر وزن ذرة الهيدروجين **16** مرة.

وقد شغلت المناقشات حول هذه المسألة وشبيهاها جزءًا كبيرًا من أوقات الكيماويين وجهودهم فيالنصف الأول من القرن التاسع عشر، فالدلائل والبينات التي كانت معروفة من ذلك الوقت لم تزد على أن

تكون ميزانًا توزن به المرجحات بين مختلف الآراء، ومن ثم كان الوصول إلى قرار حاسم في الموضوع يكاد يكون مستحيلًا، ومن أجل هذا كان بعض الكيماويين يميل إلى التخلي كلية عن البحث في الأوزان الذرية وقصر بحوثهم على الأوزان المكافئة أو نسب الاتحاد لأنها كانت خاضعة للتجربة المباشرة، ولكن هناك طرازًا معينًا من العقول لا يجد ميلًا إلى تقبل نظرية تتخطى الحقائق التي تكشف عنها التجارب العملية، ويبدو أن هذا الطراز كان شائعًا بصفة خاصة بين العلماء الألمان. وفي التاريخ الحديث لعلم الفيزيقيا أمثلة عديدة لذلك، ومع التسليم بأن وجهة النظر هذه عظيمة القيمة بلا شك في كبح جماح الإسراف في التعميم النظري، إلا أنه ينطوي على خطر شديد، إذ أن مثل هذه النظرة السلبية قد تثبط من عزائم المفكرين وتردهم عن بعض مسالك التفكير النافعة، فالحدث المهم الذي قامت عليه أهم مراحل التقدم العلمي خليق أن يجيء عن طريق صورة واضحة محددة بالذات تقوم في ذهن العلماء أكثر مما يأتي به مجرد سرد منطقي لبعض الحقائق؛ وفي الواقع أن الكيمياء كانت تصاب بضربة قاضية لو أن الفكرة الذرية قد نبذت اكتفاءً بمجرد السطحي للأوزان المتحدة.

ومن حسن الحظ أنه تم الاتفاق في النهاية بشأن الأوزان الذرية وذلك على أثر تطبيق قاعدة كان قد نادى بها أفوجادرو بعد ظهور بحوث دالتن بقليل، ولكنها كانت قد أغفلت وعمى عنها العلم ما يقرب من خمسين عامًا، كما حدث للكثير من أمثالها في تاريخ العلوم، فظلت مزوية إلى أن بعثها من مرقدها كنيزارو علم **1858**. وهذه القاعدة هي أن

الأحجام المتساوية من جميع الغازات تحوي عددًا واحدًا من الجزيئات بشرط أن تكون ضغوطها ودرجات حرارتها متساوية، وهذه الفكرة لا تخضع للبرهان التجريبي أو على الأقل لم تكن تخضع له عند المناداة بها في مبدأ الأمر، و لكنها إحدى نتائج نظرية الغازات التي تقول بأن ضغط الغاز يتسبب عن تصادم جزيئاته بجدران الوعاء الذي يحتويه، والمفروض أن كل جزيء يتحرك مستقلًا عن غيره يسمونه بانطلاق[1] يتوقف على درجة حرارة الغاز، بحيث يتكون من الغاز كله حشد من الجزيئات تتدافع على غير هدى في جميع الاتجاهات، وتتغير حركاتها على الدوام نتيجة لتصادم بعضها ببعض وبجدران الوعاء.

وعلى ذلك إذا اتحد غازان وتكون من اتحادهما غاز ثالث، فإن الأحجام النسبية للاثنين ولنتاج اتحادهما تمثل الأعداد النسبية للجزيئات في الثلاثة. فمثلًا يتحد حجمان من الهيدروجين مع حجم من الأكسجين فيتكون من ذلك حجمان من بخار الماء، أي أن جزيئين من الهيدروجين وجزيئًا واحدًا من الأكسجين تنتج جزيئين من البخار، وبما أن كل جزيء من البخار يجب أن يحتوي على ذرة من الأكسجين على الأقل مع أنه لا يستمد الأكسجين إلا من نصف جزيء فقط، فلا مناص من أن يكون جزيء الأكسجين محتويًا على ذرتين على الأقل (ولو أنه بمقتضى هذه التجربة يصح أيضًا أن يحتوى الجزيء على أربع ذرات أو ست ذرات أو أي عدد زوجيآخر من الذرات).

---

[1] speed هو السرعة في غير اتجاه معين.

فعلينا إذن أن نواجه تعقيدًا آخر في النظرية وهو أن جزىء العنصر لا يتحتم أن يكون محتويًا على ذرة واحدة، والواقع أن هذه الحقيقة كانت السبب في معظم ما اعترض إماطة اللثام عن كنه الأوزان النسبية للذرات من صعوبات. لكن التجربة السالفة الذكر لا تنبئنا بشىء من عدد ذرات الهيدروجين في جزيئه لأن جزىء الهيدروجين في هذه الحالة يعطينا جزيئًا من البخار ومن ثم كان كل ما نستطيع تقريره هو أن جزىء الهيدروجين وجزىء بخار الماء يحتوي كل منهما على نفس العدد من ذرات الهيدروجين.

أما الحقيقة التي نبتغيها فلا تقرر إلا بوساطة تجربة أخرى، فالقدم المكعب الواحد من الكلور يمكن أن يتحد بقدم مكعب واحد من الهيدروجين فيكونان قدمين مكعبين من حامض الكلورديك الغازي. وبمثل ما قلناه في حالة الأكسجين ننتهي إلى أن جزىء الهيدروجين لابد وأن يحتوي على ذرتين منه على الأقل، وكذلك أيضا جزىء الماء.

ويلاحظ أننا في كل هذه الحالات اضطررنا إلى إضافة مكونين على الأقل، وبمثل هذا النوع من المناقشة لن نستطيع تحديد العدد الحقيقي تحديدًا كافيًا، فكل ما يستطيع الإنسان أن يصل إليه هو أصغر عدد من الذرات في الجزىء يتماشى مع جميع الحقائق التي كشفت عنها ملاحظتنا.

والواقع أنه لا يوجد تفاعل يتحتم علينا فيه أن نفترض أن جزىء الأكسجين أو جزىء الهيدروجين يحوي أكثر من ذرتين، ومن ثم افترضنا أن هذا العدد هو الصحيح وذلك لدواعي التبسيط، وهو فرض قد لقي

منذ تقريره تأييدًا عظيم المدى بأدلة مختلفة تمام الاختلاف. وتتضح ضرورة هذا التقييد عندما نعتبر أن ذرات الهيدروجين مثلًا كانت دائمة الازدواج في كل مركب يمكن تصوره، فعندئذ يصبح الزوج من الذرات في الواقع هو"الذرة " الفعالة بالنسبة لجميع الأغراض الكيماوية. والبرهنة عن طريق الاستدلال الكيماوي أن جزىء الهيدروجين ليس فيه إلا ذرتان هو في الواقع مثل حي للبرهان السلبي، وعلينا أن نثبت أنه لم تظهر حالة واحدة قط عكس ذلك، وهذا يشبه إلى حد ما محاولة إنسان أن يثبت استحالة وجود الساحرات، فإن مثلًا واحدًا يقوم فيه دليل ثابت لساحرة شوهدت في الهواء على رأس عصا مكنسة لكفيل بأن يقلب جميع استنتاجته رأسًا على عقب.

فمع التحفظ السالف الذكر نكون قد برهنا إذن على أن جزىء البخار يحتوى على ذرتين من الهيدروجين وواحدة من الأكسجين، ومن التركيب الوزني للبخار وهو **8** من الأكسجين إلى **1** من الهيدروجين ينتج أن وزن ذرة الأكسجين قدر وزن الهيدروجين **16** مرة. وبالاستدلال بنفس الطريقة، مع تعديلها لتلائم مختلف الحالات، أمكن تعيين الأوزان النسبية لجميع العناصر المعروفة، ولو أن بعض الشك ظل يخامرنا بالنسبة لحالات العناصر التي لا تتكون منها مركبات غازية.

وقد اتخذ دالتن وزن ذرة الهيدروجين كمرجع له فاعتبرها الوحدة، وظل الكيماويون ردحًا من الزمن يقتدون به. وحديثًا اتخذ الأكسجين مرجعًا، ولكن وزن ذرته لم يعتبر الوحدة بل اعتبر **16**؛ وهو أقرب عدد

صحيح لقيمته في النظام القديم وهي 15،9. وبناءً عليه لم يكن هناك فرق كبير بين أرقام العنصر الواحد في طريقتي الحساب هاتين. ويبلغ وزن ذرة الهيدروجين بالمقياس الأكسجيني 1،0081 بدلًا من واحد صحيح. و قد كان الباعث على هذا التغيير في الأصل تيسير الأمور، إذ أن العناصر التيتتحد بالأكسجين أكثر عددًا من التي بالهيدروجين؛ ولذا فالأوزون كانت تحسب فيالغالب بالنسبة للأكسجين، ومن ثم كان يضايقنا اضطرارنا إلى تحويلها كلها كلما احتاج الأمر إلى إيجاد النسبة بين وزني الهيدروجين والأكسجين بأرقام أكثر دقة. وكان التغيير موفقًا لأن وزن الهيدروجين، على ما يظهر الآن، يشذ إلى حد كبير عن قاعدة عامة تخضع لها كل العناصر الأخرى كما سيأتيالكلام عنها فيما بعد.

ويلاحظ أننا في كل ما ذكرناه حتى الآن لم نبحث إلا في الأوزان الذرية، وليس هناك في الكيمياء العادية دليل يشير إلى الوزن الفعلي أو الحجم الفعلى لأية ذرة بمفردها، عدا أنها بطبيعة الحال يجب أن تكون أصغر من أصغر هباءة من المادة يمكن تناولها في العمليات الكيماوية. والواقع أن المعلومات الدقيقة عن الأحجام والأوزان المطلقة لم نصل إليها إلا في الأربعين سنة الماضية، وهذه المعلومات جاءتنا من ناحية علم الفيزيقيا.

وقد لوحظ من زمن بعيد أن بعض العناصر بينها تشابه في سلوكها الكيماوي كالذي يبدو في الأسر، وأنه يوجد في بعض الحالات على الأقل علاقات تقريبية بين الأوزان الذرية لأعضاء هذه الأسر، فقد نفذ

الكيماوي الروسي مندليف ببصيرته إلى العلاقة التي بين العناصر المختلفة وأدى ذلك إلى اكتشافه الجدول الدوري للعناصر، إذ وجد أنه إذا صنف العناصر المعروفة حسب أوزان ذراتها فإن الذرات المتشابهة في الخواص الكيماوية تعاود الظهور في الجدول بعد فترات دورية، وبناءً عليه إذا صرفنا النظر عن الهيدروجين وجدنا أن العنصر التالي له في خفة الوزن وهو الهيليوم الذي يتميز بعدم تكوينه من مركبات كيماوية، ويظهر له شبيه في هذا وهو النيون وترتيبه العاشر في الجدول.

أما العنصر الثالث – اللثيوم – و هو معدن أبيض لين يفقد لمعانه بسهولة، فله زميل عظيم الشبه به في الصفات الفيزيقية والكيماوية هو الصوديوم وترتيبه في الجدول الحادي عشر. وعلى هذا المنوال نجد أزواج العناصر كلها عظيمة الشبه أحدها بالآخر وهي: الرابع والثاني عشر، والخامس والثالث عشر، والسادس والرابع عشر، والسابع والخامس عشر، والثامن والسادس عشر، والتاسع والسابع عشر، أي أن الأول من كل من هذه الأزواج له عنصر بمثابة الشقيق يبعد عنه في الجدول بثمانية محلات. وهذه الفكرة تستمر فتشمل ثمانية عناصر أخرى، فنجد الثامن عشر يشبه كلًا من الثاني والعاشر، والتاسع عشر يشبه كلًا من الثالث والحادي عشر وهلم جرا.

على أن النظام يدخل إليه بعد ذلك بعض التعقيد، إذ أن علينا أن نختار **18** عنصرًا قبل أن تعود الخواص المتشابهة للعناصر **2**، **10**، **18** إلى الظهور. أي أن هناك دورتين أو سلستين من **18** عنصرًا يقتفي الثاني

منهما أثر الأول بدقة إلى حد ما، ثم تأتي بعد ذلك تعقيدات أخرى جديدة لا ضرورة لبحثها بالتفصيل. والجدول الكامل في أحدث صورة مثبت في تذييل هذا الكتاب. وليس لأخف العناصر أو الهيدروجين أشقاء ومن ثم حذف من الجدول.

وعندما نشر مندليف الجدول لأول مرة اضطر إلى افتراض وجود ثغرات معينة ليحكم الدورية وكانت عنده الجرأة الكافية لأن يتنبأ بوجود عناصر تملأ هذه الثغرات، ووصف مقدمًا ما يجب أن تكون عليه خواصها استنتاجًا من خواص شقيقاتها، وقد صدقت نبوءته في بعض الحالات باكتشاف عناصر لها نفس تلك الخواص ولها أوزان ذرية تضعها في مكانها المرتقب من الجدول.

ومع ذلك ظلت هناك صعوبات كبيرة تحف بالجدول إلى عام 1913، ففي حالتين كان وضع عنصرين معكوسًا بمعنى أن أحد العنصرين كان يجب أن يكون وزنه الذري أكثر من الآخر ليتبوأ في الجدول المكان المرتقب، لكن وزنه الذري وجد بالفعل أقل من الآخر. وكان لا يزال هناك عدد من الثغرات، كما كان ترتيب الجزء الأخير من الجدول كله محل شك، و هو الجزء الذي كان الانتظام فيه غير واضح وضوحًا كافيًا في معظم أجزائه. ويرجع الفضل في إزالة هذه العقبات إلى العالم الفيزيقي موزليالذي كان موته في غاليبولي من أعظم الخسائر التي مني بها العلم في أثناء الحرب العالمية الأولى.

وقد كان هذا التقدم أحد النتائج التي ظهرت في أثناء أبحاث أجريت على الأشعة السينية وهو يوضح بأجلى صورة كيف أن التقدم في أحد فروع العلم ينعكس أثره في فرع آخر، فكثيرًا ما نرى في العلوم أمثلة لتقدم ما في إحدى النواحي تعثر رابطًا وكاد يقف تمامًا ثم لم يلبث أن نهض وقفز إلى الأمام على أثر اكتشافات حدثت فينواحٍ مختلفة عن ناحيته تمام الاختلاف، وهذا في الواقع منشأ إحدى الصعوبات الكبيرة التي تعترض وضع كتاب كهذا، فكل ناحية من نواحي التقدم تستغل النتائج التي تظهر في غيرها، وهذا يجعل من الصعوبة بمكان وصف أي جزء من الموضوع بغير الإشارة إلى أفكار لم تكن قد شُرحت بعد.

إن التقدم الفعليالذي جعل في الإمكان تكملة الجدول الدوري كان في الواقع اكتشافًا لعالم الفيزيقيا الألماني فون لاو الذي توصل إلى أنهفي الإمكان استخدم بلورة لتعمل في الأشعة السينية عمل المحزوز في الضوء المرئي.

وقد كان في حكم اليقين كما ذكرنا من قبل أن الأشعة السينية نوع من الأمواج لكن أحدًا لم يتمكن قط من قياس طول موجتها أو من تخليص هذا الفرض من الشبهات تمامًا، وقد رأينا أن قياس أمواج الضوء يتوقفعلى الحصول على محزوز سطرت عليه خطوط بينها مسافات لا تبعد كثيرًا عن طول موجة الضوء وإن كبرت عنه. والمحزوزات الضوئية قد وصل التسطير عليها بالفعل إلى أدق ما تسمح به الوسائل الميكانيكية.

ولكن طول موجة الأشعة السينية يبلغ على ما نعلم الآن $\frac{1}{10000}$ من طول موجة الضوء المرئي.

وقد تبدت المشكلة غير قابلة للحل في أول أمرها[1]، لكن فكرة بارعة خطرت على بال "لاو"، وهي أن البلورة عبارة عن صفوف منتظمة للذرات والمسافات التي بينها تفعل في الأمواج البالغة القصر ما تفعله خطوط المحزوز والمسافات التي بينها في الأمواج الضوئية تمامًا. والواقع أن لباب التركيب البلوري هو أن الذرات والجزيئات فيها متراصة على شكل تام الانتظام هو الصفة المميزة لنوع البلورة. ويمكن للإنسان أن يتصورها تمامًا على صورة حشد من الجند مصطف بنظام دقيق،كما يتصور المادة غير البلورية حشدًا من الناس مبعثرًا على غير نظام، وكما أن هناك تكوينات منتظمة عديدة يمكن تصور صف فرقة من الجند على أيها، فكذلك توجد عدة أنواع يمكن أن تكون عليها بنية البلورة. لكن البلورات جميعها تشترك في خاصة الانتظام تلك، وهذا التشكيل أو النمط المميز يتكرر على فترات محددة في جميع الاتجاهات بانتظام، كما يتكرر الرسم على ورق الحائط.

والآن إذا أمررت أشعة سينية عبر بلورة كهذه فإنها تستطيع أن تكون منها طيفًا كالطيف الذي يتكون بالمحزوز الضوئي. نعم توجد بحق في هذه المقارنة فروق ثانوية على جانب من الأهمية مرجعها أن الذرات في البلورة مرتبة في الفراغ أيفي أبعاد ثلاثة بينما تقتصر خطوط المحزوز

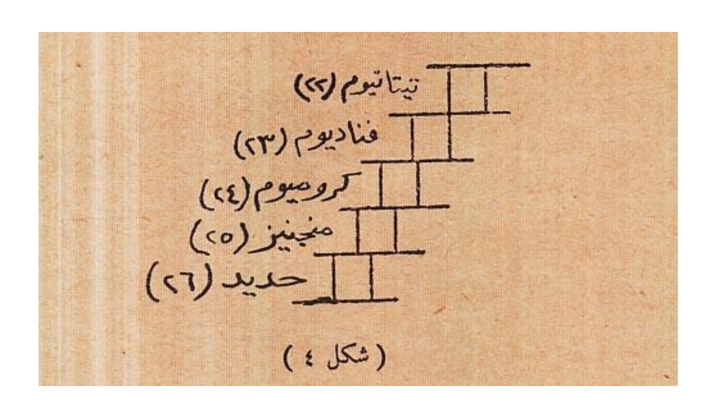
[1]وقد أصبح في الإمكان فيما بعد قياس طول موجة الأشعة السينية باستخدام محزوزات مسطرة ميكانيكيًا تسقط عليها الأشعة بأوعية سطحية صغيرة جدًا.

على مستوى واحد، ولكن هذا لا يغير الوضع الأساسي وهو إمكان تكوين طيف بالأشعة السينية كالطيف الضوئي.

وحين اقتُرحت هذه التجربة عام **1913** كان المعروف عن المقادير الفعلية للذرات كافيًا لتعيين المسافات بينها، ومن ثم لحساب الطول الفعلي لموجات الأشعة السينية من المواقع التيفي طيفها. وقد وجد كما كان متوقعًا أن في استطاعة الأشعة السينية تكوين نوعين من الأطياف أحدهما متصل كالضوء المنبعث من جسم صلب متوهج، والآخر يتكون من خطوط ساطعة يتميز بها العنصر الخاص كما هي الحال في الطيف الضوئي.

وتمتاز الأشعة السينية بميزة عظيمة على الأطياف البصرية، فبينما تكون هذه في العادة معقدة للغاية ومتضمنة عددًا كبيرًا من الخطوط يبلغ الآلاف في بعض الحالات ولا تختلف أطوالها الموجية باختلافات بسيطة تبعًا لوزن الذرة أو لطبيعتها الكيماوية، فإن أطياف الأشعة السينية تكون تدرجًا تام الانتظام، فقد وجد موزلي أن كل واحد من العناصر التي اختبرها يكشف عن خطين رئيسين، وأن الطول الموجي لهذين الخطين الواضحين يختلف اختلافًا تام الانتظام تبعا لوضع العنصر في الجدول الدوري. لقد وجد في الواقع أن كمية معينة متصلة بالطول الموجي وهي بالتحديد الجذر التربيعي لمقلوبه تتغير بنفس المقدار كلما انتقل من عنصر ما إلى العنصر الذي يليه في الجدول الدوري، وذلك على الرغم من أن الفروق بين الأوزان الذرية كانت في بعض الأحيان كبيرة وفي بعضها

صغيرة. ووجد علاوة على هذا أنه في الحالتين اللتين كان ترتيب الأوزان الذرية فيهما يجعل العناصر تأتيفي الجدول الدوريفي ترتيب خاطئ، كان ترتيبها في الطيف السيني يتفق تمامًا مع ترتيبها من حيث خواصها الكيماوية، وقد استطاع أن يبين أن هناك ثغرات معينة تكون فيها القفزة بين طيفي العنصرين المتتاليين ضعف قيمتها العادية. واستنبط من هذا أن هناك عناصر ناقصة، وعلى هذا المنوال استطاع أن يرتب العناصر بترتيب تام الانتظام مبني على أطيافها السينية ومتفق تمام الاتفاق مع خواصها الكيماوية حتى في حالة العناصر الثقيلة التي يكون فيها الانتظام أقل وضوحًا كما ذكرنا من قبل. وكان عليه أن يفترض وجود 92 عنصرًا (أو بتعبير آخر 91 خطوة) ابتداءً من الهيدروجين – وهو أخفها – إلى اليورانيوم، و هو أثقلها، كما كان معلومًا إذ ذاك. وكان ما ينقصنا في ذلك الوقت من هذه العناصر الممكنة ستة اكتشف منها بعد ذلك اثنان عن طريق اختبار الطيف السيني للمواد التي كانت موضع الحدس، ومن الأربعة الأخرى اثنان يقعان بين العناصر المشعة غير الثابتة، ومن ثم لا يوجد منها فوق الأرض في أي وقت إلا مقادير صغيرة جدًا. أما الاثنان الباقيان فمشعان أيضًا، ولكن لصلتهما بالعناصر المشعة الطبيعية فلا مناص من صنعهما بالطرق الموضحة بالفصل الخامس عشر. ولتوضيح هذا الترتيب للعناصر تم الاتفاق على مصطلح هو العدد الذري، وهو موجود العدد الظاهر في السلسة: هيدروجين 1 وهيليوم 2 لغاية يورانيوم 92.



(شكل 4)

طيف الأشعة السينية لخمسة عناصر متتالية موضوعة بعضها فوق بعض على التوالي لبيان التغير المنتظم المطرد في مواضع الخطوط الطيفية (الرأسية)

[الأرقام الموضوعة بين قوسين هي الأرقام الذرية]

وإذا حاولنا وصف الطرق التي لا حصر لها والتي يتسنى لذرات مختلف العناصر أن تتحد وفقًا لها لتكون جزيئات المركبات، كان علينا أن نكتب مجلدًا كبيرًا في الكيمياء. ومع ذلك فهناك قاعدة عامة أو قاعدتان على جانب عظيم من الأهمية يمكن سردهما باختصار مناسب.

أما الأولى فهي أنه ليس من المكن دائمًا أن يتحد أى عنصرين، فأغلبية العناصر فلزات وهذه في معظم الأحيان إذا صهر بعضها مع البعض تكونت منها سبائك تكون عادة مجرد مخلوطات يمكن أن تتكون بأية نسبة بين الفلزات المكونة لها أو على الأقل بأية نسبة في حدود واسعة

المدى، وصحيح أنه في بعض الحالات قد تتكون مركبات معينة ولكن هذه المركبات يصعب عادة تمييزها من مجموعة المخلوطات.

والعناصر اللافلزية يمكن أن يتحد بعضها مع بعض أو مع الفلزات بحرية أوسع، فهناك مركبات موجودة بالفعل تمثل اتحاد أي زوج يمكن تكوينه منها إلا فيما يتعلق بطائفة العناصر المعروفة بالغازات الخاملة والتي لا تتحد بأى شيء.

ومن جهة أخرى، توجد بعض عناصر في استطاعتها تكوين مركبات عديدة، فهناك مثلًا حشد عظيم من المركبات المتكونة من اتحاد الكربون بالهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكلور وشقيقاته من العناصر، وهذا الحشد تتكون منه الكتلة الرئيسية للمركبات المعروفة بالمادة الحية والتي تقع دراستها في نطاق الكيمياء العضوية وإن كانت نسبة كبيرة منها يمكن تحضيرها في الوقت الحاضر في المعامل. وعدد ما يعرف الآن من هذه المواد يبلغ مئات الآلاف، وهنا يكون التقاؤنا بمعظم الجزيئات المعقدة التييحوي بعضها مئات من الذرات، وفيما عدا ذلك تعتبر المركبات المكونة من أكثر من اثنتي عشرة ذرة نادرة أو شاذة، وكثير من المواد الكيماوية البالغة الأهمية لا تحوي إلا عنصرين أو ثلاثة.

لكن ليس في استطاعتنا حتى في مجال الكيمياء العضوية أن نحمل الذرات على أن تتحد خبط عشواء لتكوين الجزيئات، فهناك قواعد مرعية على جانب عظيم من التحديد تعرف بقوانين التكافؤ يمكن تمثيلها بصورة رائعة إذا تصورنا أن كل ذرة قد أمدت بعدد معين من الخيوط

المدلاة مربوطة فيها، وأن المركب يتكون بربط الذرات المتحدة بهذه الخيوط فتكون القاعدة فيها، وأن المركب يتكون بربط الذرات المتحدة بهذه الخيوط فتكون القاعدة فيها، وأن المركب يتكون بربط الذرات المتحدة بهذه الخيوط فتكون القاعدة أنه لا يصح أن يبقى منها نهايات غير مربوطة (ومن المسائل المحتاجة لدرس هو ما إذا كان من المسموح به في بعض الحالات ربط خيطين معًا من خيوط الذرة الواحدة، لكن حتى بفرض احتمال السماح بذلك فإنه يكون على سبيل الاستثناء المحض).

والمفروض أن ذرة الكربون لها **4** خيوط وذرة الهيدروجين خيط واحد والأكسجين **2** والكلور **1** والنيتروجين **3** أو **5** تبعًا للحالة. ويعبر الكيماويون عن هذا بقولهم إن الكربون رباعي التكافؤ والهيدروجين أحاديه والأكسجين ثنائيه، ومع ذلك يتبين أن هذه القاعدة تضع قيودًا صارمة للجزيئات الممكنة، فمثلًا إذا أرادت ذرة واحدة من الكربون أن تتحد بالهيدروجين فإنه يلزمها **4** ذرات منه لتربط خيوطها بها، ولا يمكن ربطها بأكثر من هذا العدد. ولو أن هناك ذرتين من الكربون فإنه يمكن ربطهما بعضهما مع بعض بزوج أو زوجين أو ثلاثة أزواج من الخيوط، والباقي يترك لوصله بذرات الهيدروجين. وهناك مركبات معروفة مناظرة لهذه كلها آخرها هو الأستيلين. وفي الواقع تتكون عادة الجزيئات الكبيرة جدًا على أساس خيط طويل من الذرات الكربونية تشمل غالبًا حلقات كل منها ذات ست ذرات مربوطة معًا بكيفية خاصة كان كنهها الحقيقي موضع نقاش كيماوي عظيم المدى، وهذه هي المعروفة بالحلقة البنزينية.

وهناك قاعدة شبيهة جدًا بهذه القاعدة تطبق على المركبات غير العضوية،خاصة ما يتألف منها اتحاد فلز مع لا فلز واحد أو أكثر. ويمكن تقسيم الفلزات إلى مجاميع حسب التكافؤ، وعندئذ يتبين أن الفلزات المتحدة في التكافؤ تكون في الغالب عناصر شقيقة في الجدول الدوري. فهناك مثلًا مجموعة من فلزات أحادية التكافؤ تشمل الصوديوم والبوتاسيوم، وأخرى ثنائية التكافؤ وغيرها ثلاثية وتشمل الألمونيوم. فإذا ما تحد فلز أحادي التكافؤ بالكلور فإنه يفعل ذلك ذرة بذرة لأن كلًا منهما يحوي خبطًا واحدًا، لكن الاتحاد بذرة من الأكسجين يتطلب ذرتين من الفلزات الأحادية التكافؤ، بينما يتحد العنصر الثنائي التكافؤ بالأكسجين ذرة بذرة، لكنه يحتاج لذرتين من الكلور ليشعباه.

على أنه توجد في الكيمياء غير العضوية صعوبات وألوان من الشذوذ التي تخرق قواعد التكافؤ أكثر مما نصادفه في الكيمياء العضوية، فهناك فلزات عديدة تظهر من حيث التكافؤ على وجهين ومنها بعض الفلزات الأكثر شيوعًا في الكون كالحديد والرصاص والنحاس، وفي بعض هذه الحالات يمكن تمييز المركبات الناتجة منها على الوجهين بلونها. وبعض هذه المركبات لا يتفق أمره والتكافؤ (في صورته القديمة على الأقل) إلا عن طريق افتراضات عنيفة وغير محتملة. على أن تقدم المعرفة فيما يتعلق بالبنية الذرية بدأ بالفعل يجعل تفسير النظرية أسهل بكثير من قبل، وإن كان قد أدى إلى بعض تحويرات في الآراء المتضمنة تحتها.

أما البحث فيما إذا كان هناك أى وجود حقيقي على أية صورة لما تخيلنا وجوده من خيوطتربط الذرات فمتروك لفصل يأتي فيما بعد، و مع ذلك يصح أن نذكر أن النماذج التي عملت للجزيئات على هذا النسق استطاعت أن تفسر كثيرًا من خواص المواد العضوية، فمثلًا نجد أن الذرات التي تكون طبقًا لهذه الفكرة متقاربة جدًافي الجزىء تصبح أقدر على أن تتفاعل مع الجزيئات الغريبة عنها عما إذا كانت متباعدة جدًا في الجزىء، والرموز البنائية، أي الأشكال التي تبين العلاقات التي بين الذرات في الجزيئات، تلعب دورًا لا غنى عنه في دراسة الكيمياء العضوية.

والواقع أن التقدم العظيم الذي أحرزته الكيمياء العضوية على أساس هذه الآراء هو أكبر دليل حصلنا عليه للآن على أن للذرات وجودًا ذاتيًا واقعيًا.

ويجب أن يلاحظ أنه على الرغم من أن قوانين دالتن يمكن تفسيرها تمامًا طبقًا للفروض الذرية، فليس من الضروري منطقيًا أن نعتقد في الذرات لمجرد تقلبنا لهذه القوانين، ويمكن اعتبارها مجرد تعبير عن الطريقة التي بها تستطيع مختلف أنواع المادة أن تتفاعل كيماويًا، وبالفعل كان هناك عالم ألماني شهير في نهاية القرن التاسع عشر يفضل أن ينظر إليها هذه النظرة.

أما البرهان القاطع، فقد جاءنا عن طريق بحوث علم الفيزيقيا، ذلك لأن علم الفيزيقيا في هذا القرن قد انغمس في الآراء الذرية التي

كانت من قبل وقفًا على الكيمياء إلى حد كبير، انغمس فيها لدرجة أن علم الفيزيقيا الحديث أصبح يعرف بالفيزيقيا الذرية تمييزًا له عن علم الفيزيقيا القديم الذي أطلق عليه من باب التمييز اسم الفيزيقيا الكتلية، لأنه كان يبحث في أغلب الأحيان في سلوك المادة ككتلة. وليس التفريق بطبيعة الحال بين نوعي الفيزيقيا محددًا بفترة زمنية فاصلة، ولكن العشر سنوات الأخيرة في القرن الماضي شهدت تغييرًا تامًا في اتجاه سير التقدم في علم الفيزيقيا، وقد جاء هذا التغير في معظمه نتيجة لدراسة مرور الكهرباء في الغازات المخلخلة، وقد كان اكتشاف الإلكترون أول خطوة كبيرة إلى الأمام.

الفصل الرابع

الإلكترون

لم يكن هناك ما يحمل الباحثين الأقدمين الذين أجروا التجارب على الكهرباء، على النظر إلى الشحنات الكهربائية إلا بأعتبار أنها دائبة التغير، فكان حديثهم وتفكيرهم يحوم دائمًا حول لفظ السيال الكهربائي وفي بعض الأحايين كانوا يتحدثون عن سيالين يناظران ما نعرفه الآن بالشحنتين.

ولاشك في أنهم كانوا متأثرين في هذه التسمية بالسهولة التي تستطيع الشحنات الكهربائية أن تنفذ بها من خلال الفلزات وغيرها من الموصلات الكهربائية. ولم يبد منهم ما يدل على أنه قد جال بخاطرهم أن مثل هذه السيالات الكهربائية يمكن أن تكون في صورة ذرية ما.

وكانت أولى التجارب التي أوحت بوجود وحدة طبيعية للشحنة الكهربائية هي تجارب فرادى في الموضوع المعروف بالتحليل الكهربائي. فلو استخدمت بطارية كهربائية لإمرار تيار في محلول مائي لأحد المركبات الكيماوية المعروفة بالملح، فإن هذا الملح يتحلل ويظهر نتاج هذا التحلل على اللوحين المعدنيين، حيث يدخل التيار ويخرج من المحلول، وهذه هي القاعدة الأساسية المستخدمة في عملية الطلاء بالكهرباء،

ويسمى كل من اللوحين المعدنيين بالإلكترود فما كان منهما متصلًا بنهاية البطارية أي من يحمل الشحنة الموجبة يعرف بالأنود (أو المصعد) ،كما يعرف الثاني المتصل بالجانب السالب من البطارية بالكاثود (أو المهبط). ولما كانت الأملاح مركبات ناتجة من اتخاذ الفلزات بمركبات لافلزية، فقد وجدت الفلزات مترسبة على الكاثود بينما يهرع إلى الأنود الجزء اللافلزي، وكثيرًا ما يتفاعل مع الماء بعد تحلله من الشحنة،ومن ثم لا يمكن جمعه في صورته الصلبة بل يحل محله عادة مقدار من الأكسجين مكافئ له كيماويًا، وأحيانًا يتفاعل الفلز أيضًاعقب تحرره من شحنته عن الكاثود ويظهر الهيدروجين بدله. أما الفلزات التي لا يؤثر فيها الماء كالفضة فتترسب كمادة صلبة على الكاثودحيث تكون عليه غشاءً.

وهذه الحقائق معروفة من زمن، وقد استخدم بالفعل السير همفري دافي، أستاذ فراداى القديم،التحليل الكهربائي للأملاح المنصهرة التي تكشف عن ظاهرة كالتي ذكرناها، استخدمها في عزل فلزي الصديوم والبوتاسيوم.

واستخدم فراداى القياسات الكمية في هذه العملية ووصل إلى نتيجة يمكن التعبير عنها بالدلالات الحديثة بقولنا إن أوزان المعادن المختلفة التي تترسب في وقت معلوم بفعل تيار معلومتتناسب مع الوزن الذري للعنصر مقسومًا على التكافؤ، ومن ثم يتبين لنا في الحال أن هذا ما كان يحدث بالضبط لو أن ذرات الفلز هي حاملة التيار وأن كل ذرة منه تحمل شحنة متناسبة مع تكافؤها، فالشحنة التي تحملها ذرة أحادية

التكافؤ كالفضة تصبح بطبيعة الحال وحدة طبيعة للشحنة، ولما كان السائل يكون جزءًا من الدائرة التي تكملها الأسلاك المتصلة بالبطارية ومن ثم فإنه يحمل نفس التيار، ولما كان التيار المار في هذه الأسلاك لا يخرج عن كونه تيارًا معتادًا أي ليس به شذوذ فإنه من المحتمل جدًا أن تكون كل التيارات، وبالتالي كل الشحنات، متكونة من وحدات من هذا النوع. ولما كانت ذرات الفلز تتجه إلى القطب السالب فإن الشحنة التي عليها تكون موجبة على ما يبدو، وإذا غادرت المحلول شحنة موجبة وجب أن تغادره كذلك شحنة سالبة مساوية لها وإلا ظهرت في المحلول شحنة سالبة تتزايد كلما استمر التحليل الكهربائي، و هذا مخالف للواقع، فلا بد إذن أن يكون الجزء اللافلزي يحمل هو الآخر شحنة ينطبق عليها أيضًانفس القانون الخاص بالوحدات وإن كان البحث يتعقد إلى حد ما بسبب التفاعلات الكيماوية المشار إليها آنفًا.

ولما كان الملح يختفي من المحلول دون أن يخلف زيادة ما لأي من الجزءين المكونين له ودون أن يخلف أية شحنة وراءه، فإننا نجزم فوق ما تقدم بأن الوحدات في الحالتين لابد أن تكون متساوية ومن نوعين متضادين.

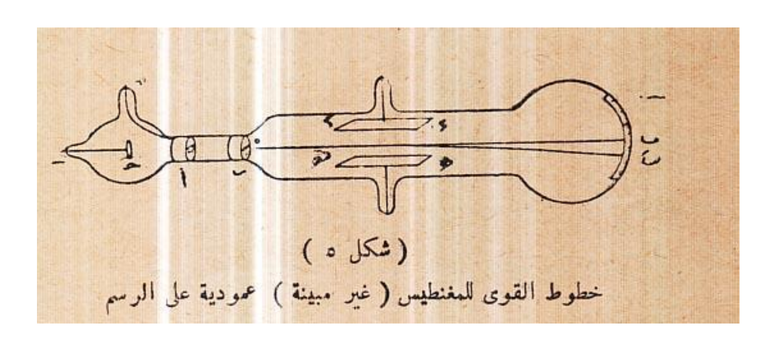
ولكننا نعود فنقول إنه رغمًا عن وجود هذا الدليل القوي لترجيح وجود ذرات من الكهرباء، فإنه لا يرقى إلى مرتبة البرهان أكثر مما ترقى إليه الدلائل الكيماوية في إثبات وجود ذرات المادة. فالمحاليل تسلك بيقين نفس السلوك المتفق مع انقسام الشحنات الكهربائية إلى وحدات، ولكن

في وسعنا أن نتصور لسلوكها تفسيرات أخرى. ولسبب ما لم يحظ انقسام الكهربائية إلى وحدات بمثل ما حظيبه انقسام المادة من اهتمام بالغ، ولذا ظلت آراء فراداى كما هي مدة خمسين عامًا لم يزد عليها شيء ذو أهمية، ذلك لأن استكمال البرهان كان يستلزم العثور على وحدة الشحنة هذه متحررة من الذرة التي تحملها.

وأطرد التقدم فعلًا بدراسة ظاهرة مرور الكهرباء عبر الغازات، كما سبق أن نبعت فكرة فراداى الأصلية من دراسة السوائل. فالغاز في حالته العادية لا يوصل الكهرباء، أما إذا اشتد الضغطالكهربائي بالقدر الكافيفإن صفات الغاز العازلة تتداعى وتمر به شرارة،ويحدث هذا بسهولة أكثر إذا كان ضغط الغاز منخفضًا. وخلال العقدين السابع والثامن من القرن الماضي أجريت تجارب وصفية كثيرة على هذه التفريغات التي تكون عادة مضيئة وتتبدى آثارها غالبًافي ألوان بديعة.

ومن بين الظواهر الأخرى التي درست كانت أشعة الكاثود التي اكتشفت منذ عام **1859**، و لتي تظهر كحزمة ضوئية تبدأ عند الكاثود ثم تتباعد عنه عادة، وحيثما تقع على جدران الأنبوبة الزجاجية تحدث ضوءًا أخضر ساطعًا، وهذه الأشعة تميل إذا ما قرب مغناطيس من الأنبوبة التي تكونت فيها، ولا تظهر بوضوح إلا بعد انخفاض الضغط إلى درجة لا تزيد على $\frac{1}{10000}$ من الضغط الجوى، و إذا ما أريد إجراء تجارب دقيقة على الأشعة فيجب أن ينقص الضغط كثيرًا عن هذا القدر.

وقد أثارت هذه الأشعة منذ اكتشافها اهتمامًا عظيمًا واختلفت الآراء فيما إذا كانت تعتبر جسيمات مشحونة أو أنها أقرب صلة إلى الأمواج الهرتيزية أو اللاسلكية التي كانت قد اكتشفت في الجزء الأول من العقد الثامن. أما الأهمية البالغة التي قدر لهذه الأشعة أن تحظى بها في تاريخ علم الفيزيقيا فلم يدركها أحد تمام الإدراك إلا بعد أن استطاع السير ج. ج طمسن عام **1897** أن يبرهن على أن هذه الأشعة تحمل شحنة كهربائية أكبر بكثير بالنسبة لكتلها مما يمكن أن يحمله أي جسم آخر معروف وتتلخص الطريقة في قياس المسافة (ب بَ شكل **5**)التي تنحرف بها الأشعة بفعل مغناطيس معلوم القوة ثم إعادة الأشعة ثانية إلى اتجاهها الأصلى عن طريق السماح لها بالمرور بين لوحين (ء، ه شكل **5**) متصلين بقطبي بطارية كهربائية قوية. وبهذا تتعادل القوة الكهربائية المسلطة على الأشعة عند شدة خاصة للبطارية مع القوة المغناطيسية وبدراسة هاتين التجربتين دراسة رياضية يمكننا استنتاج نسبة الشحنة الكهربائية إلى الكتلة لهذه الأشعة، كما يمكننا استنتاج سرعتها، وتتضح أهمية هذه النسبة عندما نتذكر أن الكتلة التي تحمل شحنة معلومة في تجارب فراداى هي مقياس للوزن الذري لمادتها .



(شكل 5)

خطوط القوى للمغناطيس (غير مبينة) عمودية على الرسم

ومن المهم أن نلاحظ أنه لما كانت أشعة الكاثود تحمل شحنة فإنها تختلف اختلافًا أساسيًا عن الضوء والإشعاعات المتصلة به التي وصفناها في الفصل الثاني، و من ثم فلا محل لها في الطيف (شكل 3).

أما كلمة "الشعاع"حين تقال عنها فهي إنما تتضمن الإشارة إلى ميلها للسير في خطوط مستقيمة لا تنحرف عنها إلا بسبب خاص يحملها على هذا الانحراف. وإذا افترضنا أن أشعة الكاثود تحمل شحنة تزيد على ما تحمله ذرة الهيدروجين ألف مرة، فالنتيجة التي تتبادر إلى الذهن هي أنها جسيمات كتلتها أقل ألف مرة من كتلة ذرة الهيدروجين التي كانت إلى ذلك الحين أخف شيء معروف، غير أن هذا الدليل في صورته هذه ليس كاملًا، فمن المحتمل أن يكون الشذوذ ناتجًا عن كبر الشحنة لا عن صغر الكتلة، غير أن هناك حجة قوية تعترض هذا الاحتمال وهي أن نسبة الشحنة إلى الكتلة واحدة لجميع أشعة الكاثود مهما اختلف الغاز الذي تمر فيه أو مادة الكاثود الذي تبدأ عنده، فإذا كان شعاع الكاثود مثلًا هو

ذرة من الهيدروجين تحمل أكثر من ألف من وحدات فراداى للشحنة فليس من المحتمل أبدًا أن يكون هذا العدد دائمًا ثابتًافي جميع الحالات المتباينة تمام التباين، وعلاوة على هذا فإن لينارد قد سبق أن بين أن أشعة الكاثود يمكنها النفاذ من خلال صفائح رقيقة من المعدن لا ينفذ منها الغاز أبدًا، وبدون أن تخلف أثرًا لمسارها.

ولم يكن هناك احتمال كبير فيما يبدو لأن تستطيع الذرات اختراق جسم صلب بهذه الكيفية. لكن البرهان القاطع يحتاج إلى تعيين مقدار الشحنة الفعلية، وعلى الرغم من أنه لم يكن من السهل القيام بهذا العمل بالنسبة لأشعة المهبط فإن ج. ج طمسن استطاع أن يبرهن على أن هناك جسيمات معينة تنبعث من بعض المعادن تحت تأثير الضوء فوق البنفسجي وتظهر نفس الشذوذ الذي تظهره أشعة الكاثود، وهو كبر نسبة الشحنة إلى الكتلة. وهذه الجسيمات إذا انبعثت في الهواء سرعان ما تلتصق بالجزيئات وعند ذاك يمكن قياس شحنتها.

وقد أظهر القياس قيمة متفقة إلى حد كبير مع القيمة التي كانت معتمدة في ذلك الحين الوحدة فراداى للشحنة. نعم إن الأخيرة لم تكن معروفة بدقة عظيمة إذ على الرغم من سهولة قياس الشحنة الكلية التي يحملها حجم معين من الهيدروجين فإنه من الصعب معرفة عدد الجزيئات التي يحتويها هذا الحجم. ولا نكاد نرى داعيًا لوصف الطرق التي استخرجت بها التقديرات المختلفة لهذا العدد إذ قد استعيض عنها كلية بطرق أخرى مبنية على الإلكترون نفسه. وعلى الرغم من أنها كانت

تفتقر إلى الكثير من الدقة والتحقق، إلا أن مقدار الخطأ فيها لم يكن ليبلغ ألف مرة. وحقيقة الأمر أن اتفاقها مع النتائج الحديثة كان أمرًا يدعو للدهشة لا محالة.

كان هذا البحث أول مخالفة صريحة لفكرة أن الذرات الكيماوية هي الحد النهائي لأصغر الأجزاء التي يتألف منها الكون، ولم يقف الأمر عند مجرد إثبات أن الجسيمات المكونة لأشعة الكاثود أخف الذرات فحسب، بل أصبح من المؤكد تقريبًا أنه نظرًا لاستقلال هذه الجسيمات عن مختلف المواد التي يمكن استقاؤها منها، فإنها تكون مركبًا أساسيًا تتألف منه المادة في جميع صورها، وقد أطلق على هذه الجسيمات لفظ عالمي واحد وهو الإلكترون. ومن عجائب التاريخ أن هذا الاسم كان قد اقترحه في الأصل ستونى عام **1891** لوحدة فراداى للشحنة قبل أن يقوم الدليل العملي بسنوات على وجودها كوحدة قائمة بنفسها.

ومهما اختلفت الآراء عن بنية الذرات بعد أن صارت منذ ذلك الحين محور أبحاث علم الطبيعة، فإن المؤكد على الأقل أنها يجب أن تحتوي على شيء آخر غير الإلكترونات. إذ من المسلم به أن جميع الإلكترونات واحدة ولها شحنة سالبة واحدة وأن أي شحنتين سالبتين تتنافران. خذ مثلا رأسي دبوسين فلو كان كل منهما مكونًا من الإلكترونات وحدها فإنهما إذا ما وضعا متقاربين لتنافرا بقوة أكبر من وزن جسم مساوٍ للأرض، وحيث إن شيئًا من ذلك لا يحدث بطبيعة الحال لرأسي الدبوسين أو لأية مادة عادية أخرى، فلابد من وجود جزء موجب

الشحنة يتعادل مع الإلكترونات، وهذا الجزء الموجب يبدو أن كتلته تساوي بالتقريب كتلة ذرة الهيدروجين التي أثبت أحدث المقاييس أنها تبلغ قدر الإلكترون **1844** مرة تقريبًا.

وتتكون ذرة الهيدروجين في الواقع من إلكترون واحد ووحدة موجبة واحدة. ولما كانت ذرة الهيدروجين متعادلة فإن شحنة البروتون يجب أن تساوي شحنة الإلكترون عدديًا مع اختلاف في الإشارة، وذلك لكي يتعادلا عندما يجتمعان. كذلكينبغي بناءً على هذا أن تحتوي كل ذرة أخرى متعادلة على أعداد متساوية من الإلكترونات والبروتونات.

وفي الواقع إننا نستطيع بطرق مختلفة أن نفصل من الذرة إلكترونًا واحدًا أو اكثر في بعض الأحيان،و بذلك ندعها بشحنة موجبة مختلفة، كذلك تستطيع بعض الذرات لاكلها اختطاف إلكترون إضافي إذا وجدته طليقًا بجوارها، وهذا بطبيعة الحال يكسبها شحنة سالبة. ومثل هذه الذرات المشحونة تسمى الأيونات وما هيفي الواقع إلا حاملات التيار في تجارب فراداى على السوائل، وبهذا يتضح لنا السبب فيأن الشحنة التي تحملها الذرة يجب أن تكون مضاعفًا للوحدات الطبيعية.

والدليل على أن البروتون هو الوحدة التيتصوب للكتلة دليل سلبيفي الغالب إذ لم ينجح أحد قط في سلب ذرة الهيدروجين أكثر من إلكترون واحد او في تقسيمها بأية طريقة كانت. فإذا كانت ذرة الهيدروجين تحوى حقًا إلكترونًا واحدًا فقط، فإن ما يتبقى بعد سلبه لابد وأن يكون جسمًا ذا شحنة موجبة مساوية لشحنة الإلكترون المسلوب،

ومن ثم فمن المحتمل أن يكون هو الوحدة التي نبحث عنها، ولا يمكن بطبيعة الحال أن يوجد برهان على أن البروتون،أو الإلكترون بالنسبة لما نحن بصدده لا يتألف من عدد من وحدات أصغر، ولكن كل ما نستطيع أن نقوله هو إنه لم يظهر فيأية تجربة أجريت حتى الآن دليل ما على تفتيت البروتون أو الإلكترون. وعلاوة على هاتين الوحدتين المشحونتين فإن علم الفيزيقيا الذرية يقر الآن وحدة ثالثة هي النيوترون وتتساوى تقريبًا مع البروتون من حيث الوزن ولكنها بغير شحنة، وسيرد الدليل على هذا في الفصل العاشر، وبغض النظر عن اختلاف بسيط جدًافي الكتلة. سوف نكتفيفي بحثنا الحالي بأن نعتبر النيوترون مكافئًا لبروتون قد تعادلت شحنته الموجبة بالتصاق إلكترون به التصاقًا أشد مما في ذرة الهيدروجين.

ولهذا الرأي السابق نتيجة طريفة جدًا ترجع بنا إلى نظرية شاعت في وقت من الأوقات ثم طرحت منذ زمن بعيد. فلو أن كل ذرة تتألف من عدد من الإلكترونات ومثله من البروتونات فإن أوزان كل الذرات يجب أن تصبح مضاعفات لوزن ذرة الهيدروجين، وبعبارة أخرى إذا حسبت الأوزان الذرية بدلالة الهيدروجين لوجب أن تكون كلها أعدادًا صحيحة. ووجهة النظر هذه كان قد اقترحها براوت في الأيام الأولى لنظرية دالتن، وهي فكرة لها وجاهتها الظاهرة. لكن الحقائق تجمعت ضدها بوضوح على أثر ازدياد الدقة في القياس، فقد تحقق أن كثيرًا من العناصر لها أوزان ذرية ليست بالأعداد الصحيحة قطعًا، فمثلًا الوزن الذري للكلور 35،5، غير أن هناك حقيقة أخرى محيرة هي أن نسبة كبيرة من الذرات بما فيها ذات الوزان الذرية المعروفة بغاية الدقة، تخضع

لقاعدة العدد الصحيح، وعددها أكبر من أن تفسر على أنها مجرد مصادفات، ومع ذلك هناك كثير من الاستثناءات التي لا سبيل إلى إنكارها.

وقد جاء التفسير منذ الحرب العالمية الأولى نتيجة لتجارب أستن الباهرة، فقد استطاع أن يبرهن على أن ذرات بعض العناصر لا كلها تظهر في أكثر من نوع، فإذا أخذنا مثلًا حالة الكلور وجدنا أن بعض ذراته وزنها 35 والبعض الآخر 37، وهذا معناه أن الكلور هو في الحقيقة مخلوط من عنصرين، وهو تفسير صحيح من وجهة نظر واحدة، إذ أن نوعي الكلور لهما خواص تكاد تكون متطابقة، لدرجة تدعو إلى أن نحتفظ للكلور بعنصريته الواحدة ثم نبتكر اسمًا جديدًا لمكونيه ولنسم كلًا منهما النظير (أو الايسوتوب). والواقع أن التطابق في الخواص بينهما قريب من الكمال لدرجة يكاد لا يتسنى لنا معها إلا بصعوبة كبيرة إحداث تغيير ضئيل في النسب التي يوجدان بها في الطبيعة أو إيجاد صنف من الكلور مثلًا يحوي من أحد مكوناته (37) أكثر من المعتاد ومن الآخر (35) أقل من العادة.

والحقيقة الهامة هي أن كل الوسائل الكيماوية العادية التي تستخدم في فصل عنصر عن آخر تعجز تمامًا عن إحداث أي تغيير في هذه النسبة، و لا يتيسر هذا إلا باستخدام طرق تتوقف مباشرة على أوزان الذرات.

ويؤدي اكتشاف النظائر هذا إلى تعقيد محير إذا ما أردنا وضع نص بسيط للنظرية الذرية، فنحن حينما رسمنا الصورة التقريبية عن تكوين

المادة في الفصل الأول من هذا الكتاب، خيل إلينا أنه قد يكون من الأفضل تجاهلها، إذ أن بعض ما ذكر في ذلك الصدد ووجهنا النظر إليه في الهامش لم يبلغ الدرجة الواجبة من الدقة. وقد وجد أن نسبة كبيرة من العناصر هيفي الواقع مخاليط من النظائر قد يصل العدد في بعضها إلى ثمانية أو تسعة، وقد وضح الآن السبب فيأن بعض العناصر لا كلها له أوزان ذرية تمثلها أرقام صحيحة وهذه هيالتي لها نوع واحد فقط من الذرة. وعندما توجد النظائر يكون الوزن الذري المقيس مجرد قيمة متوسطة يتوقف مقدارها على النسب التي تختلط بها هذه النظائر. ولم نصل بعد إلى تفسير ما يسبب اشتمال بعض الذرات على نظائر كثيرة واقتصار البعض الآخر على نوع واحد فقط، كما أننا لا نعلم الأسباب التي من أجلها تكون النظائر، حينما توجد، متكونة بالنسبة التي نجدها عليها بالفعل في الطبيعة.

والحقيقة الهامة هيأن الوزن الذري لكل نظير يمثل إلى درجة عالية من الدقة بعدد صحيح، وهذا يتفق تمامًا مع الرأي القائل بأن الذرة مركبة في جميع حالاتها من عدد صحيح من الإلكترونات والبروتونات، ومن الغرابة بمكان أن أعظم استثناء ملحوظ لهذه القاعدة هو الهيدروجين نفسه، ويذكر القارئ كيف فسرنا ما دعانا في الوقت الحاضر إلى اتخاذ الوزن الذري للأكسجين 16 بالضبط وحسبنا تبعًا لذلك الأوزان الذرية الأخرى كلها بالنسبة له، وعلى هذا المقياس الجديد تصبح قاعدة العداد الصحيحة راسخة الأساس، أما الهيدروجين نفسه فإنه يزيد في هذا المقياس على الوحدة بمقدار ثمانية أجزاء من ألف، ويرجع جزء بسيط من هذه

الزيادة إلى وجود النظائر الثقيلة التي يتكون منها الماء الثقيل المكتشف حديثًا، لكن الظاهر أن الإلكترون والبروتون عندما يكونان في صورة الهيدروجين يكونان أثقل بهذا القدر مما عندما يكونان جزءًا من ذرات أخرى.

وعندما نشير إلى بنية الذرة في مكان آتٍ من هذا الكتاب، ستسنح لنا الفرصة للإشارة مرة أخرى إلى هذا الاستثناء العجيب.

الفصل الخامس

أوزان الذرات وأقدارها (أو قدودها[1])

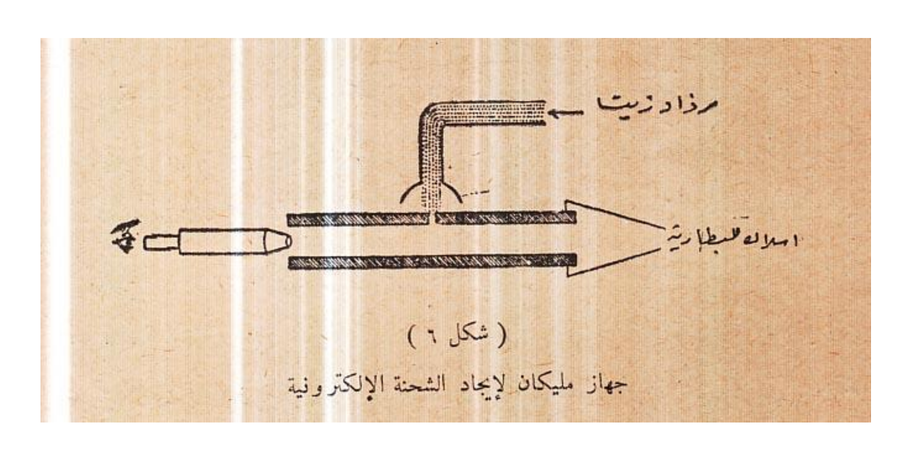
لم يتوصل العلم حتى الآن إلا لمعرفة القليل مما يمت إلى ما يجب أن يكون عليه قدر الذرة الواحدة أو وزنها، وكل ما اضطرنا إلى فرضه هو أنهما صغيران جدًا بالقياس إلى أية كمية من المادة في متناولنا.

أما الأوزان الذرية التي جاء ذكرها من قبل فكلها نسبية، أي أنها تدلنا فقط إلى أي حد تكون إحدى الذرات أثقل من غيرها، ولكنها لا تشير بالمرة إلى عدد الذرات مثلًا التي تزن رطلًا، ولإيجاد هذا علينا الرجوع ثانية إلى الاعتبارات الكهربائية، فقد بينت التجارب التي أجراها فراداى مقدار الكهرباء التي يحملها قدر موزون من عنصر ما عندما يترسب في التحليل الكهربائي، ولكننا رأينا في الفصل السابق أن كل ذرة في المحلول فيها زيادة من الكهربائية الموجبة عن السالبة أو من السالبة عن الموجبة يدل عليه وجود أو غيبة الإلكترون أو أكثرها وفقًا لرقم التكافؤ. ولما كان التكافؤ معروفًا كيماويًا، فما علينا لإيجاد عدد الذرات التيفي الرطل الواحد إلا أن نقسم مقدار الكهرباء اللازمة لتحلل رطل من العنصر على الشحنة الواقعة على الإلكترون ثم قسمة الناتج على التكافؤ. ويرمز لهذه الشحنة عادة بالحرف ش أو س. وقد قلنا في الفصل السابق إن هذا

[1] جمع قد (sizes)

التعيين قد تم بالفعل ولكننا لن نصف الآن طريقة طمسن الأصلية بل سنصف طريقة تفوقها كثيرًا من حيث الدقة وهيالتي استخدمها عالم الفزيقيا الأمريكي مليكان.

وتتألف الطريقة من تكوين رذاذ من الزيت دقيق جدًا إلى حد أن القطرات الصغيرة تسقط في الهواء بغاية البطء بحيث يمكن مشاهدتها بالميكروسكوب وقياس زمن سقوطها بين خطين في مجال الرؤية بعينية الميكروسكوب، فإذا كانت هناك إلكترونات طليقة أو أيونات غازية أخرى في الهواء الذي تسقط خلاله هذه القطرات فقد تمس واحدة منها من آن لآخر قطرة ما وتلتصق بها وبذلك تصبح القطرة مشحونة، ويمكن إيجاد مثل هذه الإلكترونات الطليقة بإمرار الشعة السينية على الهواء، فإذا ما شحنت القطرة تعرضت لفعل كهربائي، وإذا كانت العملية كلها تجرى بين لوحين معدنيين فإن حركة القطرة يمكن التحكم فيها عن طريق كهربة اللوحين. وبدلًا من أن تسقط القطرة يمكن شدها إلى أعلى بتأثير القوة الكهربائية، وإذا وقفت الكهرباء عادت القطرة إلى السقوط. ويمكن تكرار عملية الصعود ثم الهبوط مرات عديدة.



(شكل 6)

جهاز مليكان إيجاد الشحنة الإلكترونية

بهذه الكيفية استطاع مليكان أن يلعب بقطرات الزيت كما يشاء، فكان يتتبع القطرة الواحدة في صعودها وهبوطها خلال مسافة لا تزيد على $\frac{1}{20}$ من البوصة لمدة ساعة تقريبًا. ولما كنا نعلم أن سرعة سقوط القطرة تتوقف على حجمها كما هو الحال في قطرات المطر حيث تسقط الكبيرة منها بسرعة بينما تسقط الدقيقة منها وهي الضباب ببطء شديد لدرجة أن تيارات الهواء العارضة قد تؤثر فيها. وقد استطاع مليكان بقياس زمن سقوط القطرات غير المشحونة أن يحدد حجمها ووزنها. ولندرس الآن حالة بسيطة نفرض فيها أنه عندما سلطت الكهرباء تحركت القطرة إلى أعلى بالسرعة التي كانت تتحرج بها إلى أسفل عندئذ يكون من الواضح أن القوة الكهربائية المسلطة عليها تساوي ضعف وزنها، حتى يعادل نصفها وزن القطرة ويولد نصفها الثاني في القطرة حركة إلى أعلى مساوية

لما يولدها فيها وزنها إلى أسفل. ولما كانت درجة تكهرب اللوحين يمكن قياسها فإن شحنة القطرة يمكن بالتالي حسابها.

لكن يصح أن نسأل هنا: كيف يتسنى للإنسان أن يتحقق من أن الشحنة كانت إلكترونًا حقًا، والجواب هو أنها في الواقع لم تكن دائمًا كذلك،لكن هذا التغير بذاته ربما كان أقوى برهان استنبط للآن على صحة النظرية الإلكترونية، ذلك لأن مليكان وجد أن سرعة القطرة في المجال الكهربائي يعتريها تغيرات فجائية أحيانًافي اتجاه وأحيانًافي عكسه، ولكن هذه التغيرات كانت دائمًا واحدة، وبذلك أمكن مليكان أن يعلل التغير في حركة القطرة كنتيجة لفقد وحدة من الشحنة أو اكتساب أخرى، وكلما تغيرت السرعة أمكن حساب قيمة الشحنة. وقد وجد أن الشحنة الكلية للقطرة تكون دائمًا مضاعفًا مضبوطًا لهذه الوحدة. وتدل التغيرات الارتجافية للشحنة بنفس المقدار المحدد في كل مرة دلالة قاطعة على أن الكهربائية غير متصلة بل إنها تنقسم إلى وحدات صغيرة. والقيمة التي وصل إليها مليكان وهي ش = $4،77 \times 10^{-10}$ من الوحدات الإلكتروستاتيكية قد لا تحمل معنى كبيرًا لغير عالم الفيزيقيا المتخصص، ومع ذلك فالقيمة المستنتجة لوزن ذرة الهيدروجين التي يمكن أن يستنبط منها بسولة وزن أية ذرة أخرى تبين بوضوح التناهيفي الصغر ودقة المقياس الذي قام عليه هذا الإلكترون. أما وزن الذرة بالجرام فيساوي$1،65 \times 10^{-24}$ ومعنى هذا أن 80 ألف مليون مليون ذرة من ذرات الرصاص الثقيل لازمة لتكوين أوقية واحدة، وبعبارة أخرى فإن وزن ذرة الهيدروجين بالنسة لحبة الرصاص الصغيرة يعادل وزن الإنسان

بالنسبة لوزن الأرض كلها، أو بتشبيه آخر أن أصغر جسيم يمكن أن يُرى بوضوح في الميكروسكوب قد يحتوي على عدد من الذرات أكثر من عدد سكان الأرض.

وبمجرد معرفة وزن الذرة يسهل علينا تقدير حجمها أو قدرها لأن المقاومة الشديدة التي تبديها المواد الصلبة والسائلة للضغط توحي بأن الذرات فيها قد تكون متلاصقة أو قريبة جدًا من ذلك. فلو علمنا مثلًا عدد الذرات في أوقية من الرصاص والحجم الذي تشغله أمكننا استنتاج متوسط الحيز الذي تشغله كل ذرة فيها، لكن هذا بطبيعة الحال لا يؤدي بنا إلى قيمة مضبوطة تمامًا، إذ ليس من المنطق أن نفترض أن الذرات تشغل الفضاء كله، فمثلًا قد يكون كيس من الحصى مملوءًا تمامًا بمعنى أننا لا نستطيع الزج بحصى آخر فيه ومع ذلك لابد وأن يكون هناك حيز كبير من الفضاء في المسافات المحصورة بين الحصى.

ومع كل هذا فقد وجد بعملية حسابية تقريبية بالكيفية التي شرحناها أن معظم الذرات يبلغ قطرها جزءًا من مائة مليون من البوصة. ولكي نوجد الأقدار بالضبط لابد من معرفة الكيفية التي ترتب بها الذرات في كل مادة بالذات، إذ بهذا وحده يمكننا أن نتبين مقدار ما تشغله أية مادة معينةمن فضاء، ومقدار ما يبقى بعد ذلك مما يقابل المسافات بين الحصى،وقد أمكن تحقيق ذلك بوساطة الأشعة السينية التي يمكّنها قصر طول موجتها من أن تعمل عمل الضوء "لرؤية" المواضع النسبية للذرات، حيث لا يمكن أن يتم ذلك بالضوء العادي. ويمكن

البرهنة على أن هناك حدًا طبيعيًا لقوة الميكروسكوب من شأنه أن الأشياء لا يمكن تمييزها منفصلة إلا إذا كان تباعدها أقل من نصف طول الموجة، وهذا في الأشعة السينية فهو أقل من الأبعاد الذرية بمقدار محسوس.

الفصل السادس

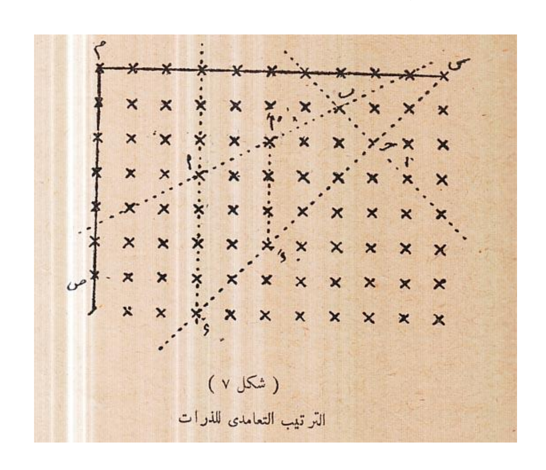
ترتيب الذرات في البلورات

رأينا (صفحة 24) كيف يمكن استخدام الحقيقة الآتية في قياس الطول الموجي للأشعة السينية وهيأن الذرات في البلورة مرتبة على نسق منتظم.

وبالعكس يمكن استخدام الأشعة السنية المعلومة الطول الموجي لبحث ترتيب الذرات في بلورة معينة. وقد قارنا الذرات في البلورة بالجنود المصطفة في نظام تام، وهذا الانتظام في الترتيب ينم عنه الانتظام في المظهر الخارجيالذي لفت أنظار الفيزيقيين والكيماويين إلى هذهالأجسام في أول الأمر.

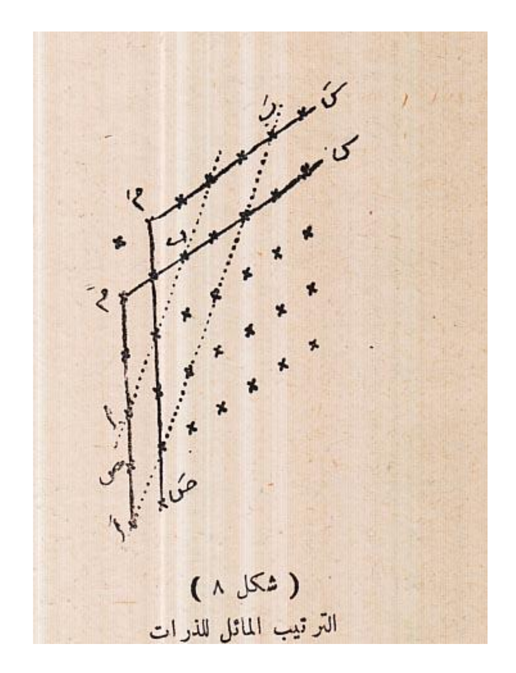
فإذا ما فحص الإنسان بلورة مناسبة الحجم، سواء أكانت بلورة طبيعية كقطعة من البلور الصخري (الكوارتز) أم بلورة صناعية كبلورة صودا الغسيل، فأول ما يلفت إليه النظر فيها هو أنها مكونة من عدد من السطوح المستوية متلاقية في خطوط مستقيمة. وإذا فحص المرء عددًا من عينات البلورات من مادة واحدة فإنه يجدها تتشابه إلى حد ما وإن كان هذا التشابه على ما يظهر ليس تمامًا. خذ مثلًا بلورات الكوارتز فهي قد تكون طويلة ورفيعة أو قصيرة وغليظة لكنها تكون دائمًا تقريبًا منشورات سداسية تكسوها قمة مكونة من عدد من الأوجه الصغيرة.

وقد أثبتت القياسات الدقيقة لعلماء البلورات أن كل وجه للبلورة يمكن تمييزه بأرقام معينة تصف موضعه، وأن الزاوية التيتبين أي زوج من الأوجه التي تحمل نفس الأرقام واحدة لجميع البلورات المنتمية إلى مادة واحدة مهما كبرت. وخير وسيلة لإدراك معنى هذا القانون هي أن نتأمل نموذجًا صغيرًا جدًا ذا بعدين اثنين. تصور عددًا من الذرات مرتبًافي صورة مربع بسيط كما في الشكل مكونًا بذلك نوعًا من البلورات. فالأوجه الممكنة تكون مستويات أو بالأصح خطوطًا لأن الذرات مرتبة في مستوى لا في الفضاء تمر بعدد من الذرات؛ ويبين شكل 7 بعض هذه المستويات مرسومة بخطوط منقطعة وتمثل البلورة الحقيقية بمنطقة مثل ا ب جـ ء تحدها من جميع الجهات سطوح ممكنة، وإذا زحزح أحد الأوجه مثل ا ء إلى اً ءً موازيًا لنفسه فإن شكل البلورة يتغير تغيرًا كبيرًا، لكن هذه مسألة ثانوية تمامًافي نظر عالم البلورات إذ أن ما يهمه هو أن تكون كل زوايا اَ بَ جَـ ءَ هي نفس زوايا ا ب جـ ء:



(شكل 7) الترتيب التعامدي للذرات

فمهمة عالم البلورات إذن هي إيجاد كل الأوجه التي تحدث في البلورة من نوع معين وقياسها والعثور على طريقة بسيطة للتعبير عن اتجاهاتها. وتتوقف الطريقة المستخدمة على ما يسمى محاور البلورة، وهي اتجاهات معينة في البلورة تناظر بعض تنظيمات في ترتيب الذرات وتمتاز ببساطتها ومثلها م س و م ص في شكل 7، وليس من الضروري أن تكون متعامدة مثل شكل 8 وقد يوجد في بعض الحالات أكثر من مجموعة واحدة من المحاور تفي بالغرض، وعندما تتحد المحاور المناسبة فإن كل وجه يحتمل وجوده يمكن وصفه بعدد الخطوات النسبية محسوبة من م إلى أن يقطع المحاور،

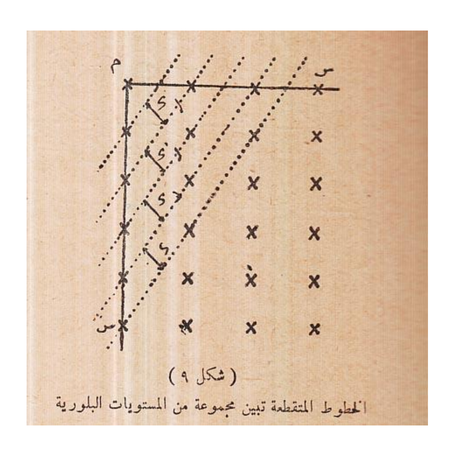


(شكل 8)

الترتيب المائل للذرات

وعلى هذا تكون الأعداد بالنسبة للوجه ا ب (شكل **8**) متساوية وهي **2** على كل، ويلاحظ هنا أن الأعداد تكون متساوية أيضًا إذا رسم المحوران مَ سَ و مَ صَ أو رسم بدلهما الوجه اَ بَ، فالعبرة في جميع الحالات بالاتجاهات وحدها. ويجب في حالة البلورات الحقيقة اتخاذ ثلاثة محاور تناظر أبعاد الفضاء على كل محور. فالمستويات المرسومة في شكل **9** مثلًا لها عدد دليلي **2** على المحور السيني، وعدد دليلي **1** على المحور الصادي . وقد تكون وحدات الفضاء مختلفة بالنسبة للمحاور المختلفة.

كنا إلى الآن نعتبر إشارات × الظاهرة في الأشكال ممثلة لذرات منفصلة، أما في حالة المركبات فتكون الذرات على أنواع مختلفة، لكن توجد في جميع الحالات مجموعة معينة من الذرات قد تكون الجزىء الكيماوي العادى وقد لا تكونه، وتعتبر وحدة النمط. ويصح تكوين التشكيل أو النمط بتكرار لا نهائي لهذه المجموعة الابتدائية بحيث توضع كل مجموعة في وضع موازٍ بالضبط لمجاورتها وعلى مسافات ثابتة منها كالتشكيل الذي على ورق الحائط تمامًا.



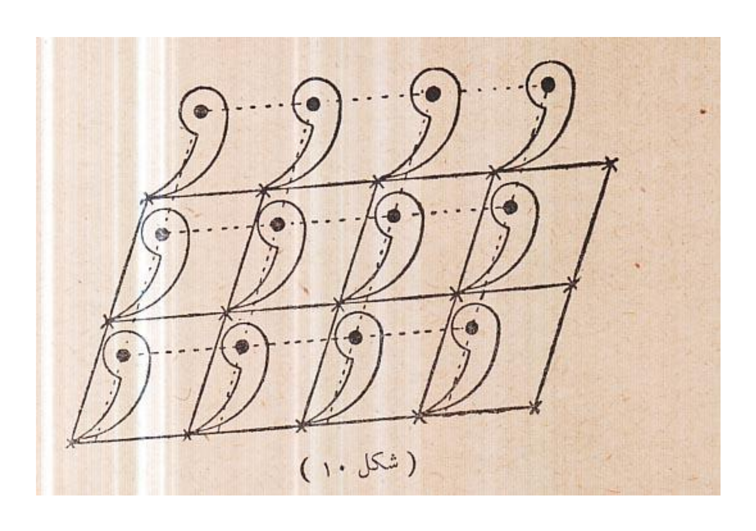
(شكل **9**)

الخطوط المتقطعة تبين مجموعة من المستويات البلورية

وقد وضح ذلك في شكل **10** بتكرار أجسام على شكل الواو فإذا اخترنا نفس النقطة من كل مجموعة حصلنا على ترتيب من النقط شبيه بما حصلنا عليه من قبل. وليست هناك أهمية ما لاختيار أية نقطة معينة من المجموعة وهذا موضح في شكل **10**، حيث يتجلى أن أنماط (**x** وَ و) متطابقة فيما عدا زحزحة كلية. فالنمط المكون بهذه الطريقة بوساطة النقط المثلة لمختلف المجموعات للبلورة الصلبة يسمى «شباكة فضائية » (**space lattice**) .

وللبلورات درجات مختلفة من التماثل تتبدى في صورة تكرار منتظم للأوجه. خذ مثلًا بلورة مثالية على شكل مكعب نجد لها عددًا من أنواع التماثل، فمثلًا إذا أخذنا خطًا يخترق أحد الأوجه في وسطه عموديًا عليه وتصورنا المكعب يدور حول هذا الخط كمحور، فإنه يتخذ موضعه

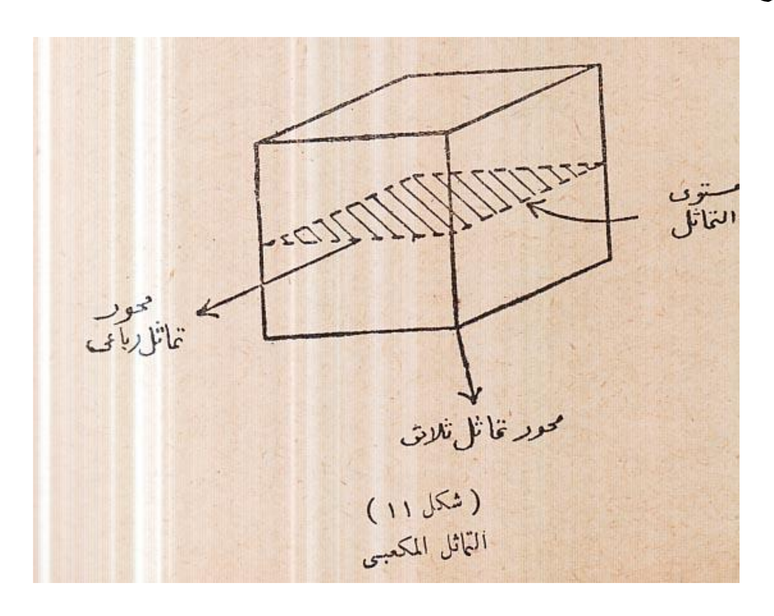
الأصلي أربع مرات في كل دورة كاملة، وهذا يسمى محور التماثل الثلاثي، كذلك يوجد بهذه البلورات عدد من مستويات التماثل تعمل كما لو كانت مرايا تحدث بها انعكاسات لنصف المكعب تطابق نصفه الآخر (شكل **11**).



(شكل **10**)

وقد يكون للبلورة الفعلية من التماثل أكثر مما يبدو منشكلها الظاهري، فالبلورة التي كان يجب أن تكون على شكل مكعب مثلًا ربما تصاب في أثناء نموها ببعض التشويه بسبب اعتراض حال دون نموها في اتجاهات معينة وترتب عليه نمو جوانب المكعب بمقادير غير متساوية، وإذا كان التشويه لم يبلغ فيها درجة من الكبر بحيث يمنع تكون سطوحها كلية فإن زواياها تظل كما هي دون تغيير و ستطيع الإنسان أن يتخيل فيها التماثل المثالي للبلورة غير المشوهة. وهذا التماثل هو بالطبع نتيجة للتماثل في الترتيب الذري. فالشباكة الفضائية في شكل **7** من شأنه أن

النمط كله لو دار حول إحدى علامات × لانطبق على موضعه الأصلي أربع مرات في كل دورة كاملة،

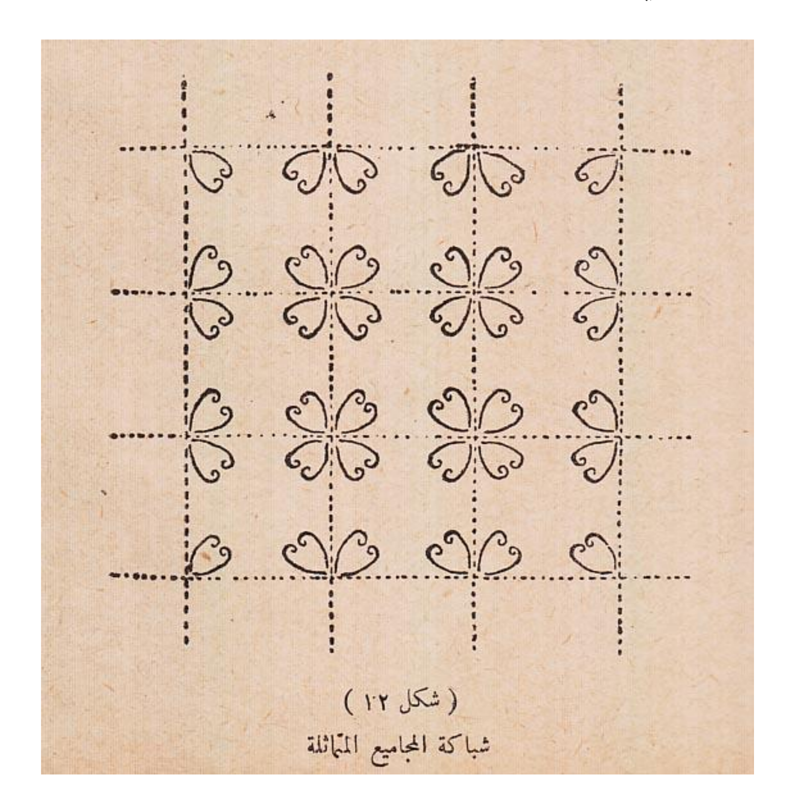


(شكل **11**)

التماثل المكعبي

أما في حالة الشكل **8** والشكل **9** فيكون الانطباق مرتين فقط. ثم إن النمط الظاهر في شكلي **7** و **9** لو أنه انثنى على أي خط يوازي م س او م ص ويصل علامات × ببعضها فإن الجزء المثني ينطبق على بقية النمط، لكن هذا لا يصدق على شكل **8** ومن ذلك ترى كيف أننا نستطيع استنباط الكثير عن ترتيب المجاميع من التماثل الملحوظ في البلورة الكاملة.

بل إننا نستطيع أن نستنتج شيئًا عن بنية المجاميع نفسها، فلو أننا اقتصرنا على حالة ذات بعدين اثنين فقط وكان الجزىء فيها عديم التماثل بالمرة ممثلًا بالعلامة وظهر في المنظمة محور تماثل رباعي، فلن يقتصر الأمر على ظهور التماثل في الشباكة الفضائية فحسب بل إن المجموعة التي تكون الخلية الشباكية يجب أن تكشف عنه أيضًا. ويوضح شكل 12 إحدى الطرق التي يمكن بها بناء مجموعة متماثلة كهذه من قطع غير متماثلة مرتبة في شباكة واحدة،



(شكل 12)

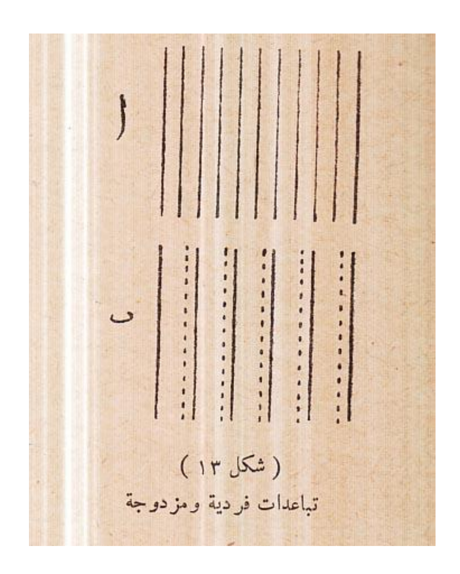
شباكة المجاميع المتماثلة

ويلاحظ أن علينا استخدام نوعين من الأجسام الواوية يختلفان بعضهما عن بعض كاختلاف طابع القدم اليمنى عن طابع القدم اليسرى.

وينطبق هذا التفسير نفسه في حالة الأبعاد الثلاثة، وإن كانت المسألة تصبح أكثر تعقيدًا، والاحتمالات أكثر عددًا، إلا أن القارئ يمكنه بسهولة أن يرى أنه لا توجد ترتيبات بديلة كثيرة محتملة للذرات تؤدي إلى التماثل الملاحظ في البلورات التي تكشف عن درجة عالية من التماثل والتي تكون جزيائتها بسيطة نوعًا ما، ومع هذا لم يكن من المستطاع أن نعين على وجه التحديد ترتيب الذرات حتى في أبسط البلورات قبل اكتشاف حيود الأشعة السينية بفعل البلورات.

وقاعدة حيود الشعة السينية هي امتداد لقاعدة حيود الأشعة الضوئية بمحزوز من الشقوق، فإذا نفذ ضوء أحادي الطول الموجي من خلال لوح زجاجي مسطر عليه عدد من الخطوط الدقيقة المتقاربة تكونت حزم ضوئية على جانبه الآخر، وتتألف إحداها من الضوء الذي يمضي قدمًافي طريقه بغير انحراف وهذا لا أهمية له فيما نحن بصدده، وتظهر على كل من جانبي هذه الحزمة سلسلة من الحزم الضوئية بزوايا معينة أقربها أقواها عادة،وهذه هيالتي سنخصها بالتدبر. فإذا أخذنا الضوء المنحرف إلى جانب واحد فقط وجدنا حزمة ضوئية قوية جدًا، لكن الزاوية التي تخرج بها هذه الحزمة تتوقف على الطول الموجي، بحيث إذا كان الضوء الأصلي يحوي عدة أطوال موجية كانت هناك عدة حزم ضوئية في اتجاهات متعددة.

وهذه المجموعة من الحزم الضوئية تؤلف طيف الضوء الناشئ من المحزوزو، وهذا هو ما يحدث عندما يكون التسطير على الزجاج مكونًا لسلسة من الخدوش متباعدة تباعدًا منتظمًا كما هي العادة (شكل **13** ا) (فالخدوش تكون بمثابة سلسلة من الحواجز المعتمة على الزجاج)، أما إذا أتينا بمحزوز عليه تباعدان منتظمان (شكل **13** ب) فلابد أن نجد الحزمة الضوئية المناظرة لكل طول موجي قد تضاعفت، كما نجد كذلك طيفين متراكبين أحدهما فوق الآخر، وهذا بطبيعة الحال تعقيد غير مستحب، ولن يعتمد أحد أن يصنع محزوزًا كهذا وإن كانت مثل هذه النتائج تحدث أحيانًا على أثر أخطاء عرضية في التسطير. أما في البلورة فإننا لا نستطيع أننمنع حدوث ذلك لأننا يجب أن نتقبل ما تجود به الطبيعة، و لهذا فائدة عظيمة عندما نريد الوقوف على بنية البلورة على الرغم من أنه قد لا يستقيم مع استقصاء الأشعة السينية، والقاعدة هيأن لكل تقسيم تباعدي منتظم طيفه الخاص،



(شكل ١٣)
تباعدات فردية ومزدوجة

(شكل **13**) تباعدات فردية ومزدوجة

وهذا «التباعد المنتظم بالنسبة للبلورة هو الذي يقع بين الأزواج المتتالية من المستويات المرسومة كلها موازية لوجه واحد للبلورة ومارة بنقط الشباكة الفضائية. مثل هذا التباعد يدل عليه الطول ء المبين في شكل **9**، وبما أنه يوجد أوجه عديدة ممكنة للبلورة فهناك أطياف عديدة. ولما كانت الأشعة السينية تنفذ في البلورة فليس من الضروري أن يكون الوجه قد تكون بالفعل عند السطح، فانتظام البنية قائم حتى و لو كان الوجه قد انكسر أو لم يتكون قط بسبب نمو الأوجه المجاورة له وازدحامها في طريقه. وفي الواقع أن بعض أوجه البلورة ينمو بسهولة أكثر من غيره فكثير من الأوجه المتوقعة لا توجد بتاتًا، أو يندر وجودها بالفعل. لكن الانتظامات المناظرة لها يمكن الكشف عنها بالأشعة السينية، فمثلًا في حالة الماس وهو كربون بلوري تكون معظم بلوراته الطبيعية مستديرة الأركان إما لتآكل السطح وإما لتدخل المادة المحيطة بها في عملية التبلور في أثناء تكون مناظرهعلى وجه طبيعي محتمل.

وهناك فرق هام بين البلورة والمحزوز المستوي ذي التباعدات الكثيرة، وهو أن الأخير يعطي كل أطيافه في وقت واحد، أما الأولى فتعطي طيفًا واحدًا فقط لكل طول موجي خاص إذا وضع على الزاوية الصحيحة. ويرجع هذا الفرق إلى الاختلاف الأساسي بين ترتيب الذرات في الفراغ ذي الأبعاد الثلاثة وبين التباعدات الناشئة من خطوط متوازية مرسومة في مستوى واحد.

وهذا من توفيق الله بالنسبة للباحث في البلورات لأنه يوفر عليه البلبلة التي كانت تنتابه لو أن الأطياف كلها ظهرت في آن واحد. لكن عليه من جهة أخرى أن يمد جهازه بوسيلة ما لدوران البلورة

في جميع الجهات حتى يتسنى له وضعها بالنسبة للأشعة في الميل الصحيح الذي يعطي الخطوط الطيفية.

وبمجرد معرفة الترتيب يمكن إيجاد المسافة التي بين الذرات بالكيفية الآتية: إن أي مكعب معين يعتبر نموذجًا للبنية يحتوى على ذرات من الصوديوم و4 من الكلور، وأوزان هذه معروفة فما علينا إلا أن نحسب حجم المكعب الذييقابل هذا الوزن من ملح الطعام وهذا من السهولة بمكان إذ أن وزن السنتيمتر المكعب يمكن إيجاده مباشرة،ومن هذا المقياس النموذجي يمكن استنتاج المسافة بين وسطي الذرتين من هندسة الترتيب.

وبناءً عليه إذا عرفنا أى تقسيم تباعدي وموضع الحزمة الضوئية المناظرة له، أمكننا إيجاد الطول الموجي للأشعة السينية المستخدمة في تكوين الحزمة، وقد حدت النتائج بموزلي إلى أن يرتب الذرات بترتيبها الطبيعي كما وصفناه في (صفحة 25)، ولكي نقوم ببحوث أخرى على البلورات نستخدم أشعة سينية معروفة، وبذا يمكن تعيين التباعدات المختلفة المميزة، وبالاسترشاد بهذه وبالتماثل يمكن السير بخطى واسعة في سبيل إماطة اللثام عن الترتيب الذري لبلورات أخرى، لكن فيما عدا أبسط الحالات لا تزال هناك احتمالات عديدة لا يمكن تمييزها إلا بقياس شدة الأطياف.

وعلاوة على ذلك، فالبحوث التي من هذا القبيل ليست من السهولة بمكان، لأنه علاوة على ما يلقاه معظم الناس دائمًا من صعوبة حينما يضطرون للتفكير في المجسمات، فليس في إمكاننا دائمًا لسوء الحظ بناء آلة لا تخطئ ويمكنها أن تعمل إلى الوراء أي تستنتج من شدة الملاحظة ترتيب الذرات الذي يسببها، فلابد أن تكون العملية إذن محض تقدير، وتؤول عمليًا إلى تجربة عدة ترتيبات محتملة حتى نصل إلى واحدة تلتئم.

وعلى الرغم من هذه الصعوبات فقد اهتدينا إلى بنية عدد كبير من الذرات معظمها بفضل جهود وليم براج وابنه لورنس براج. وهناك اكتشاف ساعد كثيرًا في هذه البحوث و هو أنه في كثير من الحالات على الأقل يمكن اعتبار البلورات مكونة من كرات متماسة تمثل مختلف الذرات وأن أحجامها مميزة لهذه الذرات المختلفة، وعليه لو أمكن مثلًا تعيين مواضع بعض الذرات الكبيرة فغالبًا ما نجد أنهليس هناك إلا عدد محدود من المواضع يكون فيها متسع لذرات أخرى، فالعملية تشبه المراحل الخيرة في لعبة الكلمات المتقاطعة، حيث يتضح أنه لم يبق إلا أماكن قليلة فيها متسع للفظ معين. وهذا الاكتشاف هو بمثابة تعيين أحجام محددة للذرات ويبين أنه يمكن اعتبارها كرات ولو على سبيل التقريب، وليست هذه الأقدار مضبوطة تمامًا، بمعنى أنه يجب افتراض وجود تفاوت طفيف حتى تلائم مختلف البلورات، لكنهذه التفاوتات لا تزيد على ما ينتظر كنتيجة معقولة للانحرافات المتسببة عن القوى التي بين الذرات. والحقيقة هي أن في استطاعة الإنسان بناء البلورات من

الذرات، كما تصنع الأعمدة الذرية من قذائف المدفع، وبهذا الوضع تبدو الذرات حقيقية للغاية وواضحة تمامًا.

وأقدار الذرات المقيسة بهذه الكيفية على صغرها هي كما لو كانت مقيسة مباشرة على فرض إمكان قياس أقدارها فعلًا تحت الميكروسكوب. وتبلغ أقطار معظم الذرات المقيسة بهذه الطريقة حواليجزء من مائة مليون جزء من البوصة. وعلى الرغم من أن الأقدار تختلف إلا أن اختلافها أقل من اختلاف الأوزان. فقليل من الذرات تبلغ من الصغر نصف هذا القطر أو من الكبر ضعفه. وعلى سبيل المقارنة نلاحظ أن أدق تركيب تم في الأعمال الهندسية يبلغ $\frac{1}{10000}$ من البوصة، وهو يناظر سمك 10000 ذرة، ومع ذلك فمن الممكن تحضير رقائق معدنية سمكها 30 ذرة فقط وتكون مع هذا متماسكة وتعكس الضوء.

الفصل السابع

النشاط الإشعاعي

لعل السنتين أو الثلاث التي أعقبت اكتشاف الأشعة السينية في نهاية عام **1859** قد تمخضت من عدد من الاكتشافات في المرتبة الأولى من الأهمية في علم الفيزيقيا أكبر مما تمخضت عنه أية فترة مساوية لها قبلها أو بعدها،

ففي هذه الفترة علاوة على ما أُنجز من اعمال متصلة بالأشعة السينية تم تعيين شحنة الإلكترون وكتلته، وهو أساس دراسة مرور الكهرباء عبر الغازات، كما أجريت التجارب الأساسية فيما يعتبر الآن علمًا قائمًا بذاته وهو النشاط الإشعاعي. و كانت نقطة البداية ما اكتشفه عالم الفيزيقيا الفرنسي بيكيريل من أن اليورانيوم يبعث نوعًا من الإشعاع في وسعه أن يؤثر في الألواح الفوتوغرافية. وكان ذلك نتاج بحث عن أنواع جديدة من الإشعاعات دفع إليه اكتشاف الأشعة السينية.

وسرعان ما تبين أن الأشعة المنبعثة من اليورانيوم علاوة على فعلها الفوتوغرافي، لها – كما للأشعة السينية – قدرة على جعل الهواء موصلًا.

ولما كانت هذه الخاصة أقرب منالًا للقياس الكمي فقد كثر استخدامها في التطورات التالية،التي نبع أهمها من بحوث الأستاذ كوري

وزوجته اللذين أثبتا إمكان استخدام الوسائل الكيماوية لفصل مواد من اليورانيوم تفرقه بكثير في فاعليتها وزنًا بوزن؛ وقد سُميأول هذه المواد البولونيوم تكريمًا لموطن مدام كوري الأصلي، واشتهر الثانيفي العالم كله باسم الراديوم، وعلى الرغم من أنهما لا يكونان إلا نسبة ضئيلة من وزناليورانيوم الذي احتواهما، فإنهما يساهمان بنسبة عظيمة في نشاطه الكلي وفاعليته.

والقاعدة الرئيسية التي استرشد بها آل كوريفي هذا البحث هيأن الآثار الإشعاعية ذرية في أساسها، أيأنها لا تتوقف بالمرة على الكيفية التي يتحد بها اليورانيوم، ففاعليته على الدوام واحدة ما دام عدد الذرات واحدًا، كما أنه لا سبيل لتغييرها بإحداث أي تغيير طبيعي كالتسخين أو كإذابة المركب اليورانيوميفي الماء. وقد استُخرج من الراديوم ما يكفي لدراسة خواصه الكيماوية، فتبين أن عنصره ينتمي إلى مجموعة شهيرة في الجدول الدوري،وأنه يشبه في خواصه فلز الكالسيوم وهو أساس الطباشير والحجر الجيري المألوفين، ولم يكن في خواصه الكيماوية شيء ينبئ عن قدرته على إحداث هذه الآثار الطبيعية الباهرة، وكل ما تميز به هو أنه كاليورانيوم ذو وزن ذري كبير جدًا،فاليورانيوم حقًا أثقل العناصر (الطبيعية) قاطبة، والراديوم لا يختلف عنه في ذلك كثيرًا. وسرعان ما اكتشفت بعد ذلك مواد مشعة أخرى منها الثوريوم أحد المواد المستعملة في صنع شبكيات (رتاين) المصابيح الغازية، وهو العنصر الذي كانت ذرته ثاني ذرة من حيث الثقل معروفة عندئذ.

والإشعاعات المنبعثة من اليورانيوم في حالته الطبيعية ليست كلها من نوع واحد، فقد أمكن تمييز ثلاثة أنواع هي ألفا وبيتا وجاما[1]، وهذا ترتيبها من حيث القدرة على النفاذ: فأشعة ألفا لا تستطيع اختراق أكثر من بوصتين أو ثلاث من الهواء وتوقفها جميع الأجسام الصلبة فيما عدا الطبقات البالغة الرقة. أما أشعة بيتا فيمكنها اختراق صفائح الألمونيوم الرقيقة، بينما تستطيع أشعة جاما النفاذ من سمك عظيم جدًا من الرصاص. ويرجع الفضل لرذرفورد وأعوانه إلى حد كبير فيما تم بعد ذلك من دراسات لهذه الإشعاعات وللعلاقة بين مختلف العناصر المشعة.

وجاءت فكرة البداية على يد رذرفورد وصودي، و هي أن النشاط الإشعاعي عملية تغير تلقائي من نوع من الذرة إلى نوع غيره. ويمكننا تقدير ما في هذه الفكرة من ثورة على المألوف إذا تذاكرنا أنه منذ مائة عام من أيام دالتن أو ما قبله كان رجال العلم حريصين على اعتبار ذرات العناصر الكيماوية غير قابلة للتحكم أو التبدل. وقد نالت محاولات الكيماويين في العصور الوسطى لتحويل نوع من العناصر إلى نوع آخر شيئًا من الازدراء. نعم إن طمسن قد بيّن إمكان انتزاع الإلكترونات من الذرات التي تحويها وقضى بذلك على فكرة كون الذرة كلًا لا يتجزأ أو يتحكم، ولكن الأجزاء التي انتزعت بهذه الكيفية هي نسبة ضئيلة جدًا من الذرة، وأهم من ذلك أن بقية الذرة تحتفظ بشخصياتها الكيماوية وتعود إلى حالتها الطبيعية بمجرد أن تتاح لها فرصة

[1] هذه الإشعاعات سميت قبل التأكد من طبيعتها، وسوف نرى أن الأخير منها فقط هو الذي يمت إلى فصيلة الإشعاعات الضوئية أو الأثيرية وله مكان في الطيف، أما الآخران فجسيمات مشحونة.

الفوز بإلكترون آخر يلصق بها، وذلك بخلاف الحالة فيالنشاط الإشعاعي، فالتغير الذي يحدث فيها تغير دائم، والخواص الكيماوية للذرة الناتجة مختلفة تمامًا عن خواص الذرة الوالدة. وسوف يطول بنا الحديث إذا وصفنا الطرق التي بها أميط اللثام عن العلاقات التي تربط السلاسل الطويلة من المواد المشعة المعروفة لنا الآن، ولذلك سوف نجملها في النتائج الساسية التالية: يمكن تشبيه ذرة المادة المشعة بمدفع معبأ للانطلاق بعد فترة قصيرة أو طويلة . أما سبب هذه التعبئة وكنهها فلايزالان سرين غامضين تمامًا. فالقذيفة تمثل الشعاع الذي يكون في أغلبية الحالات من طراز ألفا أو بيتا، أما بقية المدفع فتمثل ذرة أخف نوعًا من الذرة الأصلية، و لها خواص كيماوية مختلفة تمامًا، و قد تكون هذه الذرة الجديدة بدورها مشعة وتطلق مرة ثانية جسيمًا لا يتحتم أن يكون من نوع الجسيم الأول. وقد تتكرر العملية عددًا من المرات يصل إلى اثنتي عشرة مرة ويكون النتاج النهائي ذرة من الرصاص. وهناك ثلاث سلاسل معروفة من هذا النوع تبدأ إحداها باليورانيوم والأخرى بالثوريوم والثالثة تسمى السلسة الاكتنيومية التيربما نشأت من نظير نادر لليورانيوم. وعلى هذا فكل مادة مشعة تتفتت على الدوام مستحيلة إلى شيء آخر ويحل محلها من جديد تفتت ذرة أعلى منها في السلسة، وذلك طبعًا باستثناء اليورانيوم والثوريوم اللذين لا يوجد ما يعوضهما.

ويتفاوت العمر المتوسط للمواد المشعة تفاوتًا عظيما من جزء من ألف من الثانية إلى آلاف الملايين من السنين. وكل زمن تقريبا من الأزمنة المنحصرة بينها ممثل بالفعل – فلدينا مواد أعمارها بضع ثوان ودقائق

وأيام وسنوات وعصور أطول. واليورانيوم نفسه أطولها عمرًا بحيث أن مقداره على سطح الأرض ربما لم ينقص كثيرًا حتى خلال عمر الأرض نفسها، وبناءً عليه إذا فكرنا في سلالة المواد المشعة كشجرة للنسب وجدنا الأجيال متفاوتة الأعمار إلى حد كبير. لكن هناك فرقًاآخر أساسيًا جدًا بين عمر الذرة المشعة وعمر الإنسان، ففي حالة السكان الآدميين تتوقف فرص الموت على عمر الفرد إلى حد كبير، فإذا ما نجا من فترة خطرة في سنته الأولى أو سنتيه فمن المحتمل أن يعمر إلى الخمسين أو الستين، ونسبة الموات بين ذوي الثمانين من العمر تفوق كثيرًاعن نسبتها بين ذوي العشرين. لكن هذا لا يصدق على الذرات، فإنها إذا كانت عرضة للموت تتمتع على الأقل بسر الشباب الدائم، فذرة الغاز المشع المعروف بالرادون متوسط عمرها خمسة أيام ونصف اليوم، ولكن المعمرة منها بعد خمسة أيام يكون احتمال بقاء الذرة المولودة حديثًا نفس المدة. والتي تعيش بعد هذه الأيام الخمسة الجديدة يحتمل أن تعيش أو لا تعيش خمسة أو عشرة أو عشرين يومًا أخرى بنفس الاحتمال الذي تتعرض له الذرة الحديثة الولادة. فالواقع أن موت الذرة متوقف على المصادفة (أو الصدفة) وحدها كما يبدو وليس نتيجة لضعف يحيق بنوع من الجهاز داخل الذرة كالمعلية التي ينشأ عنها في النهاية موت الإنسان أو الحيوان من جراء كبر السن حتى و لو كان قد نجا من تقلبات الحوادث والمرض.

والصدفة في الواقع تسمية أخرى للجهلبالأسباب، ولعلنا لن نضطر دائمًا لوصف التغير الإشعاعي بهذه الطريقة، ومع ذلك فالمسائل المتضمنة للمصادفة ولفكرة الاحتمال الحليفة لها تلعب فيما يظهر دورًا

متزايدًافي علم الفيزيقيا. وهناك مذهب فكري هام يقول إن هذه الصدفة،في بعض الحالات على الأقل، تمثل حدًا لإمكانيات المعرفة.

ويجب أن ننقل الآن من تأمل المدفع إلى تأمل القذائف،فقد بين رذرفورد، خلال البحث البارع الذي أكد بصفة قاطعة تحول الذرات، أن جسيم ألفا نفسه عبارة عن ذرة انتزع منها إلكترونان؛ فإذا ما استردهما كما تفعل قرب نهاية مسارها صارت ذرة من غاز خامد هو الهيليوم الذي اكتُشف في الشمس لأول مرة من طيفها ثم وجد بعد ذلك في بعض الغازات الطبيعية المنبعثة من الأرض، وذرة الهيليوم ذرة خفيفة لا تزن أكثر من أربعة أمثال ذرة الهيدروجين، والانطلاق الذي ينبعث به شعاع ألفا عظيم جدًا، والأثر عنيف لدرجة أنه من المستطاع بالفعل تمييز واحد بمفرده، فإذا ما أتينا بحائل مغطى بطبقة رقيقة من معادن معينة (أفضلها كبريتيد الخارصين) ووضعنا بجواره مقدارًا صغيرًا من الراديوم فإن الحائل يتوهج، وإذا ما أنقصنا مقدار الراديوم بحيث لا يصل إلى الحائل من خلال ميكروسكوب مناسب فإن الناظر إليه،إذا كان قد عود عينيه فترة طويلة على الظلام، لا يرى إضاءة متصلة وإنما يلمح من آن لآخر ومضة خافتة، وهذه تمثل وصول جسيم ألفا إلى الحائل، وبذا نستطيع بعملية عد بسيطة أن نحسب عدد أشعة ألفا التي يبعث بها مصدر الراديوم، وبمقارنة الأثر الكهربائي لهذا المصدر الضعيف بآخر أقوى منه، يمكننا استنتاج عدد جسيمات ألفا التي تنبعث في الثانية من قدرموزون من الراديوم، وإذا سلطت جسيمات ألفا المنبعثة من هذا المصدر الأكبر على وعاء لتجمع فيه فإنها تتراكم هناك على صورة هيليوم، وبعد زمن كبير جدًا يتجمع

لدينا من الهيليوم قدر كافٍ يمكن قياس حجمه. وعليه فإننا نستطيع تعيين عدد الذرات الموجودة في كمية مقيسة من الغاز عن طريق إجراء عملية العد المباشرة على قليل منها تتبعها بعملية ضرب.

وتتفق النتائج اتفاقًا عظيما مع القيم التي نحصل عليها من أوزان الذرات المحسوبة بالطريقة الموصوفة في الفصل السابق، فهي إذن بمثابة تأييد عظيم للنظرية.

وطريقة العد المباشرة هذه (والمسماة أحيانًا طريقة التلألؤ أو الوميض) من أوضح الدلائل على واقعية الذرات، وحين تكون الآراء في علم الفيزيقيا محل فحص دقيق من وجهة النظر الفلسفية، فإن دليلًا مباشرًا كالذي نحن بصدده يكون ذا قيمة عظيمة. نعم إننا لا نرى الذرة هنا بالفعل إذ أننا على وجه الدقة لا نرى إلا الضوء الصادر عن اصطدامها بالحائل، فإن كان هناك من لم يقتنع بعد بهذه التجربة فإن مثله يكون كمثل من يراقب موقعة حربية من سفينة حين يرفض تصديق واقعية القنابل لمجرد أنه لم تصبه قطعة منها، وذلك على الرغم من أنه رأى بعينه رشاش الماء الذي أثارته من حوله.

وعلى العكس من أشعة ألفا تكون أشعة بيتا، فهي صديق قديم تبين أنه في الواقع إلكترون لا أكثر ولا أقل، وإن كان حقًا يجري بسرعة أكبر من السرعات المعتادة في أشعة الكاثود. ومما يثير الدهشة أن هذا الفرق في السرعة، وإن كان في المرتبة الثانية من الأهمية، قد أبرز في الواقع نقطة على جانب عظيم من الأهمية، فقد تبين أنه بالنسبة لأشعة بيتا الأسرع

والتي لا تنقص سرعتها كثيرًا عن سرعة الضوء تكون الكتلة أكبر بكثير من كتلة الإلكترون العادي، أي أن القوة اللازمة لإمالة شعاع بيتا ذي السرعة العالية هذه تكون أكبر مما كان منتظرًا لها وفقًا للتجارب التيأجريت على أشعة الكاثود.

وقد أجريت تجارب دقيقة بارعة لقياس هذا الأثر ولإيجاد العلاقة الرياضية التي تربط الكتلة بالسرعة ووضع لها تعبير رياضى بسيط نسبيًا اتفق مع التجربة اتفاقًا بالغًا. ووفقًا لهذا التعبير فإن الكتلة لا تكاد تتغير حتى تصدر السرعة كسرًا كبيرًا جدًا من سرعة الضوء، وعندما تبدأ الكتلة في الزيادة فإنها تستمر فيها بسرعة كبيرة جدًا بحيث إذا صحت النظرية صارت الكتلة لا نهائية بالفعل عندما تبلغ سرعة الشعاع سرعة الضوء.

وقد أمكن الكشف عن أشعة بيتا لا تنقص سرعتها عن سرعة الضوء إلا بمقدار 2 أو 3 في المائة، وكتلة مثل هذا الإلكترون تكون أكبر من قيمتها العادية بأربعة أو خمسة أمثالها.

وأعظم ما يثير الاهتمام بهذه النتيجة هو أنها من أهم ما يؤيد النظرية النسبية، وتتنبأ هذه النظرية كما هو معلوم للجميع بأنه لا يوجد جسم مادي يستطيع الحركة بسرعة تفوق سرعة الضوء. ولابد أن يكون هذا صحيحًاإذا كانت الكتلة تتزايد بلا حد كلما اقتربت سرعتها من سرعة الضوء إذ أنها تحتاج عند ذلك إلى قوة تتزايد زيادة لا نهائية لكي تكسبها العجلة اللازمة لتوصيلها إلى سرعة الضوء. ولاتوجد قوة محدودة

تستطيع أبدًا أن تجعلها تجاوز هذه السرعة. وتتنبأ النظرية النسبية في الواقع بعلاقة رياضية بين الكتلة والسرعة هي بذاهًا العلاقة التي وجدت لأشعة بيتا في هذه التجارب. ويجب ألا يُفهم من ذلك أن كل أشعة بيتا لها مثل هذه السرعات، إذ ان البطيء منها لا تزيد سرعته على سرعة أشعة الكاثود السريعة.

ولا تختلف أشعة جاما عن الأشعة السينية إلا في طريقة الحصول عليها، وفي كوهًا عادة، وليس دائمًا، أقصر منها في طول الموجة. والمعروف أن الأشعة السينية تتكون عادة بطريقة صناعية، أما أشعة جاما فإهًا تكون غالبًا نتيجة ثانوية لانبعاث الشعة الأخرى. والظاهر أن الذرة تصير بعد الانبعاث غالبًافي حالة غير مستقرة فسرعان ما ترتب نفسها من جديد وتتكون من الطاقة الفائضة أشعة جاما. وفي كل تحلل ذري لا ينطلق في الأصل إلا جسم واحد سواء أكان شعاع ألفا أم شعاع بيتا، ولكن أحيانًا تنبعث إلكترونات أخرى أبطأ بوساطة عملية ثانوية.

الفصل الثامن

بعض نتائج الإشعاع والاصطدامات

ذكرنا من قبل أن الأشعة السينية والأشعة الصادرة من المواد المشعة قادرة على جعل الغاز الذي تمر فيه ناقلًا للكهرباء، وسنفحص في الفصل التالي تفاصيل هذه العملية،

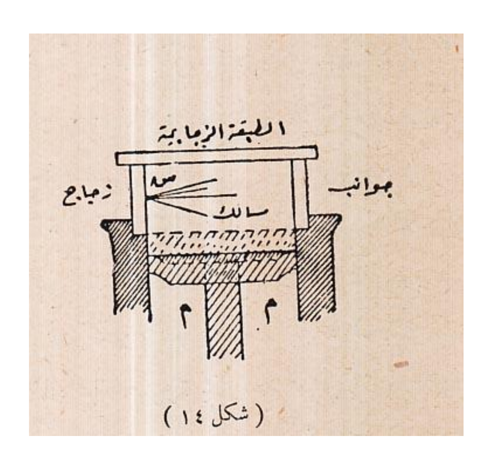
أما الآن فنقول إن هذه الإشعاعات كلها تحدث أثرها بطريقة عامة واحدة هي انتزاع إلكترون أو أكثر من بعض جزيئات الغاز مخلفة إياها بشحنة موجبة، وقد تبقى الإلكترونات طليقة أو تلصق نفسها بجزيئات أخرى من الغاز فتكسبها شحنة سالبة.

ويجب أن نذكر دائمًا أنه لما كان الاصطلاح يقضي بأن تكون شحنة الإلكترون سالبة الإشارة فإن الجزىء ذا الشحنة السالبة لابد أن يحوي إلكترونًا إضافيًا بينما تدل الشحنة الموجبة على نقص في الإلكترونات. أما البروتونات فلا سبيل إلى انتزاعها من الذرة إلا في ظروف شاذة جدًا سنشير إليها فيما بعد. والجزيئات المشحونة تتحرك بتأثير القوى الكهربائية وينشأ التيار من حركتها في الغاز. فالعملية شبيهة جدًا بالتوصيل في السوائل مع فارق مهم هو أن الجزيئات المشحونة، أو الأيونات كما نسميها، تتكون في الغاز بفعل مؤثر خارجي، فإذا ما ترك

الغاز وشأنه بعد التعرض للأشعة السينية مثلًا فإن الشحنات الموجبة والسالبة يجذب بعضها بعضًا وحين تتلاصق الجزيئات التيتحملها تنتقل الإلكترونات من الجزيء الذي يحملها إلى الجزيء الذي يفتقدها وبذا يعود الجزيئان إلى تكوينهما العادي، وعند ذاك تقف قدرة الغاز على التوصيل ويعود الغاز إلى حالته الطبيعية. أما في السوائل فالأيونات تتكون من تلقاء نفسها.

وبينما عرف الكثير عن الكيفية التي بها يحدث التأين بطرق مختلفة غير مباشرة، فإن هناك نوعًا واحدًا من التجربة يكشف عن هذه العملية بغاية الوضوح والبيان، ومن ثم لا نرى داعيًا لإضاعة الوقت في وصف الطرق القديمة. وقد قام بهذه التجربة الأستاذ ولسن ويرجع أصلها ككثير من الاكتشافات إلى السنة التالية لاكتشاف الشعة السينية، وهي تتوقف على عملية تبدو لأول وهلة عديمة الصلة جدًا بالفزيقيا الذرية، وهي عملية تكوين المطر أو الضباب، فمن المعلوم للجميع أن الهواء العاديالذييحوي دائمًا مقدارًا معينًا من الماء على صورة بخار غير مرئي إذا برد بالقدر الكافي تكاثف الماء على صورة قطرات نسميها ضبابًا إذا حدث التكاثف قرب سطح الأرض، وسحابًا إذا حدث عاليًافي السماء. وقد بينت التجارب التي أجريت منذ ما يقرب من سبعين عامًا لتكوين الضباب الصناعيأن الماء يترع دائمًا لأن يتكاثف على جسيمات الغبار الصغيرة. وبحجج مبنية على نظرية الحرارة يمكن التدليل على أنه من الصعوبة بمكان أن تتكون قطرة الماء إن لم توجد نواة تتجمع عليها. وتمدنا بهذه النوى في المعتاد جسيمات الغبار في الهواء، ويرجع صفاؤه بعد المطر

لحد كبير إلى تخلصه مما به من غبار على هذه الصورة، إذ يسقط إلى الأرض في وسط قطرات المطر. لكن ولسن بيّن أنه حتى الهواء الذي صفي بعناية وخلص من الغبار يمكن حدوث التكاثف فيه إلى حد ضئيل، وأن عدد القطرات يتزايد بشدة بتعريض الهواء للأشعة السينية أو لعامل آخر من عوامل التأين، وقد استخلص من ذلك أن نوى هذه القطرات كانت الأيونات التييحوي الهواء دائمًا قليلًا منها، ويتكون أكثرها نتيجة لوجود آثار صغيرة جدًا من مواد مشعة على الأرض، فالطريقة إذن تمدنا بوسيلة لتعيين عدد الأيونات الموجودة في الهواء وكانت في الواقع أساس طريقة طمسن الأصلية لقياس شحنة الإلكترون. لكننا الآن بصدد تطبيق يختلف عن هذا تمامًا.



(شكل **14**)

مقطع لخزانة التمدد في جهاز ولسن لقياس مسالك أو مسيرات ذرات الهيليوم – (أخذ هذا الشكل من كتاب وليم براج عن "قطرة الشياء: نشره عام **1927**)

يسقط المكبس م م فجأة من الموضع المبين بالخط المتقطع إلى الوضع المبين بالخطوط الكاملة فيبرد الهواء فجأة بالتمدد في خزانة التمدد ويتكاثف الضباب على مسيرات ذرات الهيليوم التي يقذف بها الراديوم عند س.

ويحدث التبريد في وعاء أسطواني زجاجييحوي هواءً رطبًا ويتحرك قاعه متزلقًا على صورة مكبس، فإذا ما جذب المكبس فجأة إلى أسفل تمدد الهواء وبرد، وهذا الأثر عكس الحقيقة المعروفة للجميع وهي أن كبس الهواء في منفاخ الدراجة مثلًا يسبب حرارة، ويكيف التمدد بحيث تتكون القطرات على جميع الأيونات الموجودة ويكون مصدر التأين من الضعف بحيث لا تكون القطرات كثيرة العدد فتحدث ارتباكًا، وقد تبين أن القطرات تتجمع في نظام تتميز به طريقة إحداث التأين.

ولنأخذ أولًا الحالة التي تبين أبسط التشكيلات. إذا تأين الغاز بفعل هباءة صغيرة من مادة ترمى بأشعة ألفا كالراديوم نفسه، فإن الإنسان يرى عدة خطوط مستقيمة صادرة عن الهباءة كل منها من قطرات متراصة في تقارب بحيث تبدو كأنها خط مستمر، وتكشف الخطوط أحيانًا عن زوايا صغيرة وأحيانًا، وإن كان ذلك نادرًا جدًا، تتفرع إلى فرعين. ويطلق على خطوط القطرات هذه غالبًا اسم «المسالك أو المسيرات»، ويبين كل منها مسير جسيم ألفيفي أثناء اختراقه للهواء مكونًا الأيونات على طول مسيره . والصورة الفوتوغرافية لهذه المسيرات من أعظم البراهين المقنعة بحقيقة وجود الجسيمات الفردية في الأشعة. ويجب أن

نعتبر أن الأشعة تحدث التأين بفعل القوة الغاشمة لصدمتها فتشق طريقها داخل الجزىء وتفصل عنه بعض الإلكترونات التي يتصادف اصطدامها بها عن قرب كبير، وتسمى هذه العملية من التأين "التصادم".

وإذا اخترنا بدلًا من المصدر الذي يرمى بأشعة ألفا مصدرًاآخر يقذف بأشعة بيتا، حصلنا كذلك على سلسلة من المسيراتذات فارق كبير تتميز به لأول نظرة عن مسيرات أشعة ألفا، ذلك أن مسيرات أشعة بيتا تكشف عن منحنيات متدرجة وكثيرًا ما تلتوي على نفسها تمامًا قبل أن تنتهي. كذلك يكون عدد الأيونات الناتجة في طول معين من كل مسير أقل من نظيره، ومن ثم تكون القطرات أقل تكاثفًا. ويكون مظهر المسير غالبًا كسلسلة من النقط، بل إننا نستطيع بالتكبير المناسب وباختيار الظروف الملائمة أن نرى في الحقيقة الأيونات الفردية المتكونة، والتي تظهر كما هو المنتظر أزواجًا، كذلك تظهر أحيانًا مجموعات قليلة من الأيونات بل ومسيرات قصيرة رئيسية.

وإذا كان التأين ناتجًا عن حزمة من الأشعة السينية كان مظهره مختلفًا تمامًا، وإذا كانت خزانة التمدد مبطنة بكتل من الرصاص بحيث لا تخترق الشعة إلا جزءًا منها، فإن هذا الجزء يكشف بعد التمدد عن خليط معقد من منحنيات قصيرة تبدو كأنها طريق مرور منثور عليه قطع من القش متراكمة. ويذكرنا كل من هذه المسيرات المنفردة الصغيرة المنحنية بمسير لشعاع بيتا في صورة مصغرة. وقد عرف الآن أنها في الواقع مسيرات إلكترونات أطلقتها الأشعة السينية بسرعة عالية جدًا إذا قيست

بالمعايير العادية، لكنها تكون بطيئة إن قورنت بأشعة بيتا، وهي مقاربة لسرعة أشعة الكاثود. فالتأين بالأشعة السينية إذن عملية مزدوجة تبدأ بانبعاث إلكترونات سريعة قليلة يليه تكون أيونات من جراء تصادم تلك الإلكترونات في أثناء مرورها في الغاز بجزيئات أخرى منه، وبناءً على ذلك فالمنطقة المتأينة تمتد إلى مسافة ما على الجانبين بعيدًا عن حدود حزمة الأشعة السينية الأصلية. وقد تبين أن أقصى سرعة لهذه الإلكترونات السريعة يحددها الطول الموجي للأشعة السينية، وكلما قل الطول الموجي زادت النهاية الكبرى للسرعة، وتصدق قاعدة شبيهة بهذه على التكوين الأصلي للأشعة السينية، فهذه تتكون كما نذكر من اصطدام أشعة الكاثود بما يعترضها وكلما زادت سرعة أشعة الكاثود ازداد عادة الطول الموجة للأشعة السينية قصرًا.

وهذه العلاقة أكبر من أن تكون مجرد علاقة كيفية، فإنه قد تبين أن اسرع الإلكترونات المنبعثة بفعل الأشعة السينية لها انطلاقات لا يمكن تمييزها عن انطلاقات الإلكترونات التي تنتج عنها الأشعة السينية. وعلى الرغم من أن قليلًا من الإلكترونات فقط تصل سرعتها إلى هذا الحد، فإن معظمها له انطلاقات قريبة منه،وهذا مثال لأحد القوانين ذات الآثار البعيدة في الفيزيقيا الحديثة كما سنرى فيما بعد.

ولا تصلح طريقة ولسن للفحص إلا لدراسة التأين الناشئ عن إلكترونات سريعة أي نفاذة،لكن الإلكترونات تظل تؤين باصطدامات بطيئة نسبيًا، إلى أن تهبط انطلاقاتها إلى ما يقرب من $\frac{1}{100}$من انطلاق

شعاع بيتا السريع. ودراسة هذا النوع من التأين قد أجريت في نوع من الأجهزة شبيه جدًا بالصمام اللاسلكي الثلاثي.   وقد كانت بعض الصمامات الأولى في الواقع تحوى غازًا منخفض الضغط وتستخدم هذا الأثر.

وفي هذه الحالة تنشأ الإلكترونات بفعل الفتيل المسخن الذي تفر منه إلى الفضاء المحيط به كما يفر البخار من الماء المغلي، ثم يزج بها عبر الغاز بوساطة بطارية عالية الضغط. ويمكن الاستدلال على التأين بما يحدث للتيارات التي بين الشبكة واللوح من تغير. وقد تبين أن التاين لا يحدث إلا إذا تجاوزت الإلكترونات انطلاقًا معينًا تتغير قيمته إلى حد ما تبعًا لمختلف الغازات وهو بالنسبة للهواء قريب من السرعة التي يكتسبها الإلكترون عندما يتعجل بتأثير بطارية قوتها الدافعة 16 فولت. ومن الحقائق الهامة أن الضوء يتكون في الغاز كذلك بإلكترونات أقل سرعة، لكن يوجد هنا أيضًا نهاية صغرى محددة لا يحدث شيء قبل الوصول إليها، فكانما الحال أن الذرة يمكن صدعها بالإلكترونات تصدمها بما يزيد على انطلاق معين، ويمكن كسرها إذا ما زاد الانطلاق نوعًا ما.

ويمكن متابعة التشبيه إلى حد أنه قد تبين أن الذرة المتصدعة أيالتي تبعث بالضوء يمكن كسرها (أي تأيينها) بسرعة أقل مما يلزم لغير المتصدعة، لكن الذرة بخلاف قطعة الفخار لها قدرة على إصلاح نفسها والعودة إلى حالتها الطبيعية عندما تفرغ من بعث الضوء، وللانطلاق الحرج الذي بعده يحدث انبعاث الضوء.

وللتأين أهمية عظيمة في دراسة بنية الذرة، وستسنح لنا الفرصة للإشارة إلى هذه الكميات في مناسبة أخرى، وهي تقاس عادة بدلالة الفولت اللازم لتعجيل الإلكترونات لتصل إلى الانطلاق المطلوب، ويسمى المقدار اللازم لحدوث التأين "جهد التأين للمادة"، والمقدار اللازم لانبعاث الضوء منها بجهد الرنين.

الفصل التاسع

وحدات الطاقة

"الطاقة كالمادة والكهرباء تقاس حيثما وجدت بوحدات معينة"، لعل هذا الكشف لم يعد له في علم الفيزيقيا الحديث حدث يفوقه من حيث الغرابة وعدم التوقع حتى بالنسبة لمكتشفيه أنفسهم،

وقد كان له أثرفي جميع نواحي التقدم في علمالفيزيقيا في الأربعين سنة الأخيرة،والآراء والانطباعات المشتقة منه يغلب التحدث عنها كنظرية الكمة، وإن لم يوجد في النصف الأول من هذه الفترة ما يصح وصفه بأنه نظرية منطقية قائمة بذاتها، بل هناك مجموعة من النتائج التجريبية يبدو أنها متصلة ببعضها ببعض بكيفية غامضة. والغرض المتوخى في هذا الفصل هو توضيح الخطوط الرئيسية لبعض هذه الحقائق وبيان العلاقة الكامنة تحت ما يبدو بينها في الظاهر من تباين.

أول شيء وفقًا للترتيب التاريخي هو دراسة الإشعاع الناتج عما يسمى فنيًا بالحيز المعزول ثابت الحرارة، ونعنى به فرنًا مغلقًا، جميع جدرانه في درجة حرارة واحدة.، ولدراسة الإشعاع الذي ينبعث منه لا بد لنا بطبيعة الحال من ثقب صغير في مكان لنخرج منه عينة، ونستطيع أن نجعل هذا الثقب من الصغر بحيث لا يكون له تأثير محسوسفي

الظروف المحيطة. وعلاوة على أهمية هذه الإشعاعات كوسيلة عمليةلقياس درجات حرارة الفرن، كما يغلب استعمالها لهذا الغرض، فإن أهم ما يلفت النظر إليها هو ما ثبت نظريًا وعمليًا من أنها لا تتوقف على المواد التي يصنع منها الفرن، ومن ثم تتميز بأنها ظاهرة تسببها المادة لكنها لا تتأثر بنوع المادة المستعملة، وهذا يوحي بأن تلك الإشعاعات تمثل ناحية أساسية في نظام الكون.

وطيف هذه الإشعاعات يبدو متصلًا، لكن أجزاءه ليست كلها متساوية اللمعان، فهناك طول موجي واحد أو بالأصح منطقة من الأطوال الموجية يكون الإشعاع بالنسبة لها على أشده، وهذا الطول الموجي يتناقص بازدياد درجة الحرارة، وهو في الواقع يعتبر أدق عن الحقيقة المألوفة وهي أن لون قطعة الفحم أو المعدن المتوهجة يتغير تبعًا لدرجة الحرارة. ويبدو الضوء في أول المر أحمر معتمًا ثم يأخذ يبيض ويزداد ابيضاضه كلما ازدادت درجة الحرارة. وتمتد الأطوال الموجية التي يكون الإشعاع عندها أشد ما يكون من الأحمر أو طرف الطيف الطويل الموجة متجهة نحو الأزرق. وإذا كان في الإمكان رفع درجة حرارة الجسم المتوهج بالقدر الكافي بدت عليه مسحة من الزرقة. وبطبيعة الحال لا تكون الكتلو الواحدة من الفحم على وجه التدقيق معزولًا بالمعنى الصحيح، لكن الفرق في نوع الإشعاع لا يكون كبيرًا جدًافي العادة.

وعند محاولة تفسير توزيع طاقة الإشعاع في الطيف طبقًا للقواعد الميكانيكية، تبين أن الأمر لا يقتصر على أن النتائج المتوقعة لم تتأيد بالأرقام بل إنها كانت من نوع مختلف جدًا عما لوحظ بالفعل، فمن الناحية النظرية يجب ألا يكون هناك طول موجي سائد، وإنما تكاد تنحصر كل طاقة الإشعاع عند جميع درجات الحرارة فيأمواج متناهية في الصغر. وهذه النتيجة يمكن استنتاجها من القواعد الميكانيكة العامة إذا افترضنا أن الطاقة يمكن أن تتحول من المادة إلى الإشعاع وبالعكس بمقادير دائمة التغير.

وإلى ذلك الحين لم يكن هذا الافتراض أبدًا محل تساؤل، ولكن بلانك بيّن في عام **1900** أنه يمكن التوفيق بين الاعتبارات النظرية وبين التجارب العملية لا بصفة تقريبية فقط ولكن بدرجة عالية من الدقة إذا لم نأخذ بهذا الفرض واستبدلنا به فرض بلانك أن تغيرات الطاقة من المادة إلى الإشعاع وبالعكس لا يمكن أن يحدث إلا بمقادير محددة في كل مرة. وقد سمى هذه المقادير "الكمات"، فكأنما إذن تتشارك المادة والكهرباء في طبيعتها الذرية، ولو لأغراض معينة، لكن هناك فرقًا عجيبًا وعظيم الأهمية، فبينما الإلكترونات لها جميعًا شحنة واحدة،والذرات من أي نوع لها نفس الوزن، فالكلمات ليست كلها واحدة. فطاقة الكمة في الواقع متناسبة مع تردد ذلك النوع الخاص من الإشعاع الذي ندرس تحوله . و المقصود بالتردد هو عدد الذبذبات في الثانية التي يفترض أن يتعرض لها الوسط المهتز الذي يحمل الإشعاع، فهو يساوي إذن سرعة الضوء مقسومة على الطول الموجي للإشعاع. وبما أننا نستطيع الحصول على

إشعاع وبأي طول موجي، فإنه يمكننا الحصول على كمات بأي قدر ممكن، وعلى هذا فطبيعة الوحدات الخاصة بالطاقة أقل كمالًا من الوحدات الخاصة بالمادة. ففي حالة الطاقة لا تكون كل الوحدات متساوية إلا بالنسبة لطول موجي بالذات. ويمكن توضيح معنى كون الطاقة ذرية بالتشبيه الآتي: تصور مكتبة تحوى عددًاكبيرًا من النسخ من كتاب واحد من كتب كل مؤلف واحد من عدد كبير من المؤلفين، فإذا طلب من أمين المكتبة أن يقدم من الكتب ما يزن بالضبط رطلين فلن يجد في ذلك صعوبة إذا سمح له بأن يختار كما يشاء، لكن إذا حتم عليه أن تكون الكتب كلها لمؤلف معين فقد لا يستطيع ذلك لأن كتاب هذا المؤلف بالذات قد يزن 7 أوقيات مثلًا فيكون وزن 5 نسخ أكثر من الوزن المطلوب ووزن 4 نسخ أقل منه، وبهذا المعنى تظهر الطاقة في وحدات، فإذا تقيدنا من ناحية الطول الموجى فإن مقدار الطاقة التي يمكن تحويلها يكون مضاعفًا لوحدة معينة، أما إذا لم نتقيد من ناحية الطول الموجى فإنه يمكننا جعل المقدار المحول أي قدر نشاء.

ولتمثيل القدر الحقيقي للوحدة استخدم بلانك كمية يرمز لها برمز عالمي هو " h " وتعادل طاقة الوحدة قدر ترددها 1 من المرات. ويعرف h بثابت بلانك الذي اكتشف من قياساته للإشعاع أن هذه الوحدة تساوى $6{,}55 \times 100^{-27}$ بالوحدات العلمية المعتادة، و لكنا نحصل على فكرة أوضح عن مقدارها الحقيقيإذا قلنا إنها تمثل على وجه التقريب بالنسبة للضوء الأحمر الطاقة التي يكتسبها الإلكترون من جهد قدره 2

فولت. وليلاحظ أن قيمة الكمة تزداد كثيرًا كلما ازداد الطول الموجي قصرًا بحيث يبلغ الفولت المناظر للشعاع السيني المعتاد نحو **50000**.

وواضح أن في هذه المنطقة تتغير الطاقة بخطوات واسعة جدًا ولذا يحتمل كثيرًا أن نشاهد ما يترتب عليها من آثار، ومن ثم فإن الفروق بين ما نتوقعه طبقًا لنظرية الكمة وما نتوقعه طبقًا للفكرة القديمة القائلة بالتبادل المستمر للطاقة تبدو أكثر ما تكون وضوحًا واستلفاتًا للنظر في حالة الأشعة السينية، بينما لا تكاد هذه الفروق تلحظ في حالة الطوال الموجية الزائدة عن أطوال الطيف المرئي، وقد ظل علماء الفيزيقيا يعزفون عن التسليم بمثل هذا التغير الأساسيفيآرائهم ما دام الدليل على وجود الكمات يقتصر فقط على صعوبة تفسير الإشعاع المنبعث من الحيز المعزول ثابت الحرارة. لكن هذا التغيير تأيد باكتشافات جاءت عن طرق مغايرة تمًاما لهذه، فقد كان معروفًا من زمن بعيد أن لوح الخارصين يبعث بالإلكترونات بفعل الضوء فوق البنفسجي، وهذا ما يسمى الأثر الضوئى الكهربائي (أو الضوربائي) وهو في الحقيقة ظاهرة عامة جدًا، فأية مادة تبعث بالإلكترونات تحت تأثير الإشعاع، لكن الإشعاع يجب أن يكون طوله الموجي أقل من قيمة محددة تتوقف على طبيعة المادة وتسمى "مطلعها"، وقد توصل لينارد فعلا إلى نتيجة مدهشة هيأن النهاية الكبرى لانطلاق هذه الإلكترونات لا تتوقف على شدة الضوء لأنه مهما اشتد فإن انطلاق الإلكترونات المنبعثة لا يزداد، وكل ما هنالك أن عددها يزداد.

فإذا كان الضوء حركة موجية متصلة كما كان يظن في ذلك الوقت كان من الصعب فهم ذلك، فالسرعة التي تدفع بها الأمواج الحصى أو الزلط عند الشاطئ تتوقف بلا شك على شدتها، وعلى ذلك اقترح آينشتين تفسيرها على أساس علاقات بلانك للكمات، وبيّن أن التجارب يمكن تفسيرها على أساس افتراض أن كل إلكترون قد اكتسب طاقة كمة واحدة من الإشعاع، وهذا يفسر "المطلع" كما يفسر غيره. ويجب أن يكون الطول الموجي من القصر بحيث يكون للكمة من الطاقة ما يكفي لحمل الإلكترونات بعيدًا عما يحيط بها، وهذا يتضمن وجود نهاية صغرى للطول الموجي بالنسبة لكل مادة معينة. وقد ثبت أن هذه الفكرة بعيدة المدى لحد خارق وأنها تفسر طائفة كبيرة من التجارب الهامة، فمثلًا يمكن اعتبار التأين بفعل الأشعة السينية أحد أمثلة الظاهرة أو الأثر الضوئي الكهربائي. ولما كان الطول الموجي للأشعة السينية غاية في القصر فإن طاقة الكمة الواحدة منها تكون غاية في القوة، ومن ثم ينبعث الإلكترون من الذرة بغاية العنف لدرجة أنه يستطيع تأيين جزيئات أخرى بالتصادم وإحداث التأين الثانوى الذي ناقشناه في الفصل الأخير.

وليس هذا نهاية ما يمكن استنتاجه من فكرة آينشتين، فإذا كان الإشعاع لا يحدث إلا بمقدار كمة واحدة في كل مرة فلابد لإحداثه من وجود مقدار من الطاقة يساوي كمة على الأقل. وحين توقف الإلكترونات فجأة تتكون الأشعة السينية. ولما كانت الإلكترونات تعمل مستقلة كما يبدو فإن الإلكترون لا يستطيع إنتاج كمة من الشعة السينية إلا إذا كان يحويفي نفسه مقدارًا من الطاقة مساويًا لها أو أكبر منها.

وعلى هذا إذا كانت إلكترونات أشعة الكاثود مثلًا قد اكتسبت الطاقة بتعجيلها بفعل 5000 فولت، فإنه لا يمكن أن تنشأ عنها إلا أشعة سينية كماتها مناظرة لمقدار من الطاقة أقل من هذا. وبتطبيق قاعدة آينشتين وقيمة hالتي أوجدها بلانك، نستطيع أن نحسب أقصر طول موجي مستطاع للأشعة السينية. وقد تبين أن الأشعة السينية في الواقع مقصورة على أطوال موجية أكبر من التي حسبت بهذه الكيفية. وبإلكترون ذي جهد رنيني، فإن أقصى ما تستطيع الذرة أن تظفر به هو الطاقة الكاملة للإلكترون، وهذا هو إذن كل ما يتيسر استخدامه للإشعاع، وبقسمة الطاقة h نحصل على النهاية الكبرى للتردد. وفي هذه الحالة ثبت بالفعل من التحليل الطيفي أن الضوء المنبعث له تردد واحد فقط هو التردد الذي يتفق في حدود خطأ التجربة مع المحسوب بهذه الطريقة.

فالقانون إذن هو قانون تبادلي فهو يصلح لتعيين الإشعاع الناتج من المصادمات الحادثة من الإلكترونات المتحركة، كما أنه يعين الانطلاق الذي به يمكن أن ينبعث الإلكترون حينما يمتص الإشعاع بدوره ذرة أخرى. وقد أعرب السير وليم براج ببراعة فيما يلي عن الغرابة التي يبدو بها هذا القانون إذا عبرنا عنه بدلالة الفكرة القديمة التي تصور الإشعاع أمواجًافي أثير متصل: «فكأنما إنسان ألقى بكتلة خشبية في البحر من ارتفاع قدره 100 قدم ثم وجد أن الموجة المنتشرة بعد أن تقطع 1000 ميل وتضعف ضعفًا كبيرًا نسبيًا تصبح قادرة على أن تؤثر في سفينة خشبية فتطيح بإحدى كتلها الخشبية من مكانها إلى علو قدره 100 قدم».

ولعل محاولة التوفيق بين الفكرة الجديدة والفكرة القديمة كانت أعظم صعوبة صادفها علم الفيزيقيا خلال القرن الحالي، وسنرى فيما بعد إلى أي حد أمكن التغلب على هذه الصعوبة .

ومن الخصائص المدهشة جدًا لفكرة الكمة؛ الكيفية التي بها تبدو في ظواهر ليست بينها علاقة ظاهرة، ومنها يتبين الدور الرئيسيالذي لابد أنها تلعبه في بنية الكون. والخاصة التي نوجه إليها نظرنا الآن هي شذوذ اكتُشف في السعة الحرارية لمواد معينة عند درجات الحرارة البالغة الانخفاض مثل درجة حرارة الهواء السائل. وأبلغ مثل لذلك نلقاه في الماس، إذ أن مقدار الحرارة اللازمة لتغيير درجة حارته بمقدار درجة واحدة مثلًا يتناقص بسرعة كلما بردناه، والحرارة إحدى صور الطاقة، والصورة الخاصة التي تتخذها في حالة الجسم الصلب هي تذبذب ذراته بسرعة كبيرة حول مواضعها الطبيعية؛ وعلينا أن نوضح السبب في أن ذرة الماس في درجة حرارة الهواء السائل إذا لامست جسمًا أدفا منها يجب أن تأخذ قدرًا من الحرارة أقل بكثير من الذي تأخذه ذرة من الرصاص مثلًا، وقد يظن الإنسان أن الصعوبة يمكن تفسيرها أو على الأقل غض النظر عنها، بمجرد أن نعزوها إلى اختلاف في النظرة الكماوية للمواد، ولكن هذا لا يكفي.

وقد بيّن كلارك مكسويل من حساباته القائمة على ديناميكية نيوتن العادية أن جميع الذرات يجب أن تستنفد مقدارًا واحدًا من الطاقة لكي ترتفع درجات حرارتها بقدر واحد. كذلك لا يتأثر هذا الاستنتاج

تأثرًا محسوسًا بالتغييرات التي أتت بها النظرية النسبية. ومن المستطاع تلمس تفسير إذا كنا على استعداد للتوسع في فكرة الكمة التي كانت إلى الآن معينة بتردد أمواج الإشعاع الافتراضية إلى حد ما. فلنفرض أن نتيجة مشابهة لهذه تصدق على تردد ذبذبة ناشئة عن الحرارة في إحدى الذرات؛ وبعبارة أخرى لنفرض أنه لكي تتذبذب مثل هذه الذرة أية ذبذبة فلابد لها من أن تفعل ذلك بطاقة مناظرة لكمة من ترددها الخاص بها وأنها إن لم تستطع الحصول على هذه الطاقة اضطرت للبقاء ساكنة تمامًا. ولنذكر أن الماس شديد الصلابة وأن ذراته خفيفة نوعًا ما وكلا الأمرين يتسبب عنهما أن الذبذبة إن حدثت تكون سريعة جدًا — أي بتردد كبير جدًا. وعكس ذلك بالنسبة للرصاص. والتردد الكبير معناه طاقة كمية كبيرة ولذا قد نظن أولًا أن الأمر قد سار في الطريق المعكوس، أي أن الماس بكمته الكبيرة يمتص حرارة أكثر من تلك التي يمتصها الرصاص ذو الكمة الصغيرة.

ولكي نفهم السبب في أن العكس هو الصحيح يجب أن نتدبر كيف يكون سلوك الحرارة طبقًا للنظرية القديمة. فحين يلامس الماس الجسم الذي سيسخنه فسيكون هناك بطبيعة الحال سيل من الطاقة صوب الماس، وستنتقل الطاقة في صورة حركة من ذرات الجسم الساخن المتحركة بسرعة إلى ذرات الماس البارد الأبطأ حركة، وإذا تركت مجموعة كبيرة من الذرات معًا حتى تصل إلى درجة حرارة واحدة فإن طاقتها لا تكون في الحقيقة واحدة،لكن يجب أن يكون هناك متوسط معين أي طاقة محتملة غاية الاحتمال تكون الانحرافات الكبيرة عنها أمرًا غير

عادي بالمرة، فتوزيع الطاقة بين الذرات يشبه إلى حد كبير توزيع الثروة بين أفراد الجماعة، فإذا كان متوسط الدخل مثلًا 500 جنيه فيحتمل أن يكون هناك أفراد يبلغ دخلهم 10000 جنيه ولكنهم نادرون، وأندر منهم من يبلغ 100000 جنيه، فعدد السعداء من هؤلاء لا يبلغ واحدًافي المليون، وهذا ما يصح أن نعتبره التوزيع الطبيعي و هو على حسب النظرية القديمة التوزيع الوحيد الممكن، بل إنه يكون صحيحًا على وجه التقريب طبقًا لنظرية الكمة عند درجات الحرارة العالية إذا كانت تحت يدنا للاستخدام في التوزيع مقدار كبير من الطاقة.

لكن ذرات الماس في درج الحراة المنخفضة يكون موقفها حسب نظرية الكمة أنها ما لم تكن من ذرات الملايين فلن يكون في استطاعتها امتلاك شيء بالمرة، واحتمال انتمائها إلى ذوات الملايين في جماعة فقيرة هو من الضآلة بحيث إن مقدار ما تمتلكه كلهفي المتوسط صغير جدا. وفي استطاعتنا توضيح الفرق بين انتقال الحرارة إلى الرصاص وانتقالها إلى الماس بمقارنتها بالفرق بين بيع سيارات فورد وبيع سيارات رولزرويس، فالقيمة التي تدفع ثمنًا لسيارة رولزرويس قد تكون مساوية للقيمة التي تدفع لسيارة فورد عشرين مرة، لكن إذا كانت الجماعة قصرت نفسها على شراء سيارات رولزرويس فإن عدد الأغنياء الذين يستطيعون اقتناء إحداها يكون من الصغر بحيث أن مجموع المبالغ التي يدفعونها بكون أقل من التي كانوا يدفعونها لو أنهم اقتصروا على شراء سيارات فورد. فكأنما ذرات الماس تمار الاقتصاد عن طريق رفضها شراء أى شيء سوى باهظ الثمن.

وفي وسعنا أن نفهم جيدًاأن اعتبارًا من هذا النوع تقل أهميته شيئًا فشيئًا كلما قل متوسط الثروة في الجماعة، فلو أن الذين يستطعون شراء سيارات الرولزرويس يبلغون 1 من كل 50 فقد لا يكون هناك فرق كبير بين مجموع المبالغ التي تصرف في شرائها ومجموع المبالغ التي تصرف في شراء سيارات فورد، لكن إذا افتقر السكان كلهم بحيث صار الذين يستطيعون شراء سيارات رولزرويس واحدًا فقط كل عشرة آلاف فإن مشتريات الرولزرويس تقل إلى حد كبير بينما يظل عدد السكان الذين فيوسعهم شراء سيارة أرخص كافيًا إلى حد أن ما يباع من هذه السيارة الأرخص يجعل الاتجار فيها عملية مربحة.

والآن نذكر أن درجة الحراة تناظر متوسط الثروة مقدرة بطاقة الذرات، ومنذلك نرى السبب في أن الاقتصار على كمات كبيرة من الطاقة يفعل فعله بصورة قوية عند درجة الحرارة المنخفضة. وقد بينت التجارب بالفعل أن السعات الحرارية للماس وغيره من المواد تختلف تبعًا لدرجات الحرارة بنفس الطريقة التي يتنبأ بها طبقًا لنظرية الكمة هذه.

الفصل العاشر

بنية الذرة (1)

النواة

سبق القول إن الذرة تتألف من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات، وأن عدد ما بها من إلكترونات مساوٍ لما بها من بروتونات، وقد أوردنا بعض الأسباب التي تؤيد هذا الرأي وإن كنا لم نتحدث عن النيترونات إلا قليلًا.

ومن الطبيعي أن نتساءل عن مدى ما نستطيع معرفته عن الترتيب الذي ينتظم مقومات أو مكونات الذرة هذه داخلها، وهي مسألة استرعت أدق انتباه لدى علماء الفيزيقيا في الأربعين سنة الأخيرة ولم ينته الأمر فيها إلى حل كامل للمشكلة، وإن كانت هناك في الواقع دلائل على أن بعض أسرار النواة سيظل دفينًا فيها إلى الأبد. وسواء أصح هذا أم لم يصح فإن هناك نقطة واحدة على الأقل قد أصبحت راسخة تمامًا حتى ليصح أن تعد في حكم الأمور اليقينية، وهذه هي النظرية التي ترجع في أساسها إلى رذرفورد والتي تعتبر الكتلة الرئيسية للذرة مركزة في منطقة صغيرة جدًا إذا قيست بالأبعاد التي رؤي تحديدها للذرة وهي أبعاد في ذاتها صغيرة.

وقد نبتت النظرية من سلسلة من التجارب لم يكن يتوقع لأول وهلة أن أن يكون لها خطر أساسي بالغ، فمن بين مسيرات أشعة ألفا في «خزانة ولسن» لوحظ أن بعضها يتخذ انثناءات معينة واضحة دلالة على اصطدامها بجزيء من الهواء، ومن هذه الانحرافات نادرة إلا قرب نهاية المسير حيث تسير هذه الجسيمات ببطء. ونستنتج من ذلك أنه إذا تحركت طائفة أشعة ألفا في اتجاه واحد فإنها تميل إلى التشتت بعد أن تقطع مسافة في الهواء، فيتناثر يعضها نحو الجوانب. ويحدث مثل هذا التناثر أيضًا إذا سارت الأشعة خلال طبقة رقيقة من مادة صلبة بدلًا من سيرها خلال الغاز. وكانت التجارب الأصلية التي قام بها رذرفورد تدور حول تفرق أشعة ألفا بورقة رقيقة من الذهب فاختيرت حزمة ضيقة من أشعة ألفا المنبعثة من مادة مشعة ووجهت بحيث تسير خلال ثقب ضيق في حائل، وبعد أن تمر خلال الثقب تصطدم بالورقة الذهبية وتخترقها ثم تتفرق لمسافة بوصات قليلة وتقع على حائل وهاج حيث يمكن ملاحظة ومضاتها. وبفحص أجزاء مختلفة من الحائل بالميكروسكوب وعد الومضات في الثانية أمكن تعيين نسبة الأشعة التي كانت تنحرف إلى زوايا مختلفة.

وقد تبين أن الكثرة الغالبة من الأشعة لا تنحرف إلا قليلًا عن اتجاهها الأصلي غير أن قلة من الأشعة أظهرت انحرافات كبيرة، بل إن بعضها قد انحرفت كثيرًا حتى أنها خرجت من الورقة الذهبية لتعود إلى نفس الجانب الذي جاءت منها. وهذه الانحرافات الكبيرة وإن كانت قليلة العدد إلا أنها أعظم الانحرافات أثرًا لما تمدنا به من معلومات عن

داخل الذرة. فإذا اعتبرت الذرة مكونة من إلكترونات وبروتونات استطعنا أن نبين أولًا أن هذه الانحرافات الكبيرة لا يمكن أن تكون ناشئة عن اصطدام أشعة ألفا بالإلكترونات، وسبب ذلك أن الإلكترونات ليست من الثقل بحيث تحتمل هذا الصدام. ونستطيع أن نوضح ذلك بمثل بسيط، فلنفرض أننا شبهنا البروتونات والإلكترونات داخل الذرة بكرات البليارد وكرات تنس الطاولة على التوالي، وأننا صففناها على منضدة البليارد على نمط أو تشكيل ما، ثم قذفناها بكرة أخرى من البليارد، فإن كرات تنس الطاولة لا تكاد تحرف الكرة المقذوفة عن مسيرها، وإنما تنحرف هذه انحرافًا كبيرًا إذا صدمت شيئًا يتناسب معها في الكتلة. فلكي يكون هناك انحراف كبير لدرجة ترتد معها أشعة ألفا إلى نفس الجانب من الحائل الذي دخلت منه لا بد أن تكون قد اصطدمت بشيء أكبر كتلة منها، وعلى هذا لابد أن تكون في الذرة تجمعات من أكثر من أربعة بروتونات تكون كل منها وحدة عند اصطدامها مع أشعة ألفا.

وقد جرب رذرفورد أنه في حالة ذرة الذهب تكون كتلة النواة قدر وزن شعاع ألفا خمسين مرة، وبذلك تعمل كما لو كانت مثبتة بإحكام. ويتوقف التشتت على طبيعة القوة التي بين شعاع ألفا والنواة، فلنفرض مثلًا أن القوى كانت شبيهة بالقوى التي بين كرات البليارد أي أنها لا تظهر إلا عندما يضرب بعضها بعضًا بالفعل،وبعد ذلك تزداد زيادة كبيرة في أثناء لحظة الاصطدام، ولنتصور سلسلة من كرات البليارد تطلق على كرة بليارد ثابتة تمثل النواة فسترتد هذه الكرات عنها في جميع

الاتجاهات تبعًا للزاوية التي يتفق أن تضربها بها. ولكن بعض الاتجاهات يكون احتمالها أكثر من البعض الآخر، فمثلًا لن يكون هناك كثير مما ينحرف انحرافًا خفيفًا لأن هذا معناه ضربة بالغة الدقة (لامسة)، وهو ما لا يحتمل إذا كانت الكرات غير موجهة توجيهًا خاصًا. ومن جهة أخرى سيكون هناك عدد ينحرف انحرافًا مماثلًا لما يحدث عند ضرب الكرة الثابتة قرب منتصفها لأن هذا نوع من الصدام محتمل. ونلاحظ الآن أن أشعة ألفا لا تكشف عن نتائج من هذا النوع بل بالعكس تكون الانحرافات الصغيرة هي الأكثر احتمالًا، وتقل فرصة الانحراف كلما كبر مقداره.

فلنتصور بدلًا من ذلك أن كلًا من النواة وجسيم ألفا يعملان كنقطتين مشحونتين بكهربائية موجبة فينشأ عن ذلك بينهما تنافر يتناسب عكسيًا مع مربع البعد بينهما،فإذا كان شعاع ألفا متجهًا في الأصل في طريق مستقيم نحو النواة فإن القوة الطاردة ستوقفه وترده إلى الوراء. وفي الحالات الأقل احتمالًا وهيالتي يصوب فيها شعاع ألفا بميل قليل نحو أحد الجوانب، فسيكون من شأن قوة الطرد أن تحرفه عن اتجاهه، وكلما قرب الشعاع من النواة كانت قوة الطرد أكبر والانحراف أشد.

وليس من العسير علينا باستخدام قواعد الميكانيكا أن نحسب الكيفية التي ستتوزع عليها الأشعة المتناثرة بين مختلف الزوايا، وتتفق نتيجة هذا الحساب اتفاقًا كبيرًا مع ما تسفر عنه التجربة. وزيادة على

هذا يمكن إيجاد القوة الطاردة من العدد الواقعي للأشعة المتناثرة، وهي تتوقف على حاصل ضرب شحنتي النواة وشعاع ألفا. والمعروف أن شعاع ألفا يحمل وحدتين من الكهرباء الموجبة وبهذا يمكن تعيين شحنة النواة. وقد أجريت التجارب على الذهب والبلاتين والفضة والنحاس ووجد في كل الحالات أن شحنة النواة مساوية في حدود ما يتوقع من خطأفي التجربة – للرقم أو العدد الذري.

وهذه النتيجة الهامة توضح بطريق مباشر لماذا كان للرقم الذري شأن أساسى في تقسيم العناصر، وهيأنها تقدم لنا بصفة خاصة إيضاحًا معقولًا لما اكتشفه موزلي من أن الطول الموجي للأشعة السينية المميزة للعناصر يتغير بكيفية منتظمة تبعًا للزيادة في الرقم الذري،فكلما زادت شحنة النواة بمقدار وحدة واحدة في كل مرة زادت تبعًا لذلك قوة الأثر الكهربائي بالقرب منها في مراحل منتظمة، وإذا كانت الأشعة السينية المميزة تتوقف على هذه الآثار الكهربائية في تلك المنطقة، ولهذا ما يبرره، أدركنا أن طولها الموجي يجب أن يتغير بانتظام كما زاد العدد أو الرقم الذري.

وعندما وضع رذرفورد نظريته لأول مرة كان البروتون والإلكترون هما وحدهما الأجسام المعروفة التي يصح اعتبارها حقائق نهائية، وطبقًا لقاعدة الاقتصاد في الفروض كان من الطبيعي أن يفترض أن النواة تتألف من هذه الأجسام. ويمكن تصور هذا بصفة عامة باعتبار الإلكترونات وهي المشحونة بالكهرباء السالبة بمثابة أسمنت يمسك

البروتونات وهي الأجسام المشحونة بالكهربية الموجبة بعضها ببعض ويمنعها من أن تتفكك بقوة كبيرة نتيجة لتنافرها بعضها مع بعض. وبهذا تكون النواة ذات الوزن الذري وذات الرقم الذري وتتألف من بروتونات عددها 1 وإلكترونات عددها1 – ر ،فصافي الشحنة الكهربائية الموجبة فيها ر من الوحدات.

وهناك نقطة تؤيد هذا الاتجاه وهي أن النوى المشعة تبعث في الواقع بإلكترونات كانت مندمجة في النواة من قبل. ولكن هذا التفكير قد لاقى على الزمن صعوبات، فالخواص المغناطيسية للنوى وجدت غير متفقة مع وجود إلكترونات في أية حالة عادية. وبازدياد المعروفة بخصائص الإلكترونات ازدادت الصعوبة في تصور الحالة التي يمكن أن يكون عليها وضعها في حيز النواة الضيق. ومع هذا فقد كان من الممكن أن تبقى هذه النظرية على صورة معدلة تعديلًا طفيفًا لو لم يكتشف سير جيمس شادويك النيوترون. ولإيضاح ذلك بإيجاز تقرر أن شادويك اكتشف أن آثارًا معينة تحدث عندما تصدم جسيمات ألفا بعض العناصر الخفيفة وهذه الآثار ليست نتيجة لنوع من إشعاع جاما الحادث بالتأثير، كما كان يظن، بل سببها أن أشعة ألفا تطرد من نوى العناصر الخفيفة نوعًا جديدًا من الجسيمات، وهذا النوع يشبه ذرة الهيدروجين فيالكتلة ويشبهها كذلك في أنه خالٍ من أية شحنة كهربائية، ولكن يختلف عنها في مقدرته على اختراق الأجسام الصلبة ذات الأسماك الكبيرة دون انحراف، و هي مقدرة تدل على أن الجسم له أبعاد نواة مجردة لا أبعاد ذرة.

وسنورد في الفصل الخامس عشر كثيرًا من خصائص هذه الأجسام، وإنما ذكرناها لنساعد على تكوين آخر صورة للنواة. ووجهة النظر القائمة الآن هي أن النواة تتكون من بروتونات ونيترونات، وأن هناك تجاذبًا بين البروتونات والنيترونات عندما تفصلهما مسافة شديدة الصغر، وهذا هو ما يجعل النوى تتماسك. والصعوبة التي يقمها هذا الفرض من حيث إمكانية أو آلية انبعاث أشعة بيتا هي المشكلة الرئيسية في علم الطبيعة حتى اليوم، ولكن هذا الرأي الجديد يزكيه كثير من الحقائق وهو يظفر كل يوم بما يؤيده، بل إنه الرأي المتفق عليه الآن بين الجميع، وطبقًا لهذا الرأيتكون النواة ذات الوزن الذري ا والعدد الذري ر تعتبر مؤلفة من ر من البروتونات و ا – ر من النيترونات. ولا توجد النيترونات إلا في النواة، أما الأجزاء الخارجية من الذرة فلا تحوي سوى الإلكترونات.

وكلتا النظريتين تفسر وجود النظائر أي الذرات المختلفة في الوزن الذري المتحدة في الرقم الذري وفي الخواص الكيماوية، فكلتاهما تفترض أن الجسميات الثقيلة كلها، من بروتونات ونيوترونات، مركزة جميعًافي النواة، وأن في خارج النواة عددًا من الإلكترونات يكفي لتعادل الشحنة الموجبة في النواة ولا أكثر من ذلك، وهذا هو ما عرفناه من قبل باسم الرقم الذري: وهو رقم معين لكل عنصر في سلسلة، ويدل، باستثناء حالات قليلة، على أوزان ذرية متدرجة في الزيادة. وتتوقف خواص الذرة إلى حد كبير على عدد الإلكترونات التي تقع خارجها أي على الشحنة الواقعة على النواة. أما عدد النيترونات فليس له أثر كبير إلا

حيث يكون الاهتمام بحالة الثبات والاستقرار في النواة كما هو الحال في النشاط الإشعاعي لأن مهمة النيترونات الأساسية، بل تكاد تكون مهمتها الوحيدة،هي أن تمسك بالبروتونات في النواة وتشد بعضها إلى بعض.

فإذا وجدت ذرتان متحدتان في عدد البروتونات ومتحدتان في عدد الإلكترونات تبعًا لذلك ولكنهما مختلفتان في عدد النيترونات، فإنهما لا تختلفان إلا في الخصائص المتصلة بالنواة. وعلى وجه التخصيص تكون خواصهما الكيماوية واحدة تقريبًا لأن هذه الخواص تتوقف على عدد الإلكترونات المحيطة بالنواة. أما وزنهما فسيختلف بالضرورة وينتج عن ذلك فروق طفيفة في خواصهما الطبيعية.

فنظائر العنصر ما هي إذن إلا ذرات تحمل فينوياتها نفس الشحنة الكهربائية ولكنها تحتوي على عدد من النيترونات يختلف في كل منها عن الآخر . وعندما اكتشفت النظائر لأول مرة اقترح أن يعتبر كل منها عنصرًا مستقلا، ولكن العبرة في التفرقة بين العناصر، لجميع الأغراض تقريبًا،هيفيالواقع في مقدار الشحنة الكهربائية الواقعة على النواة، هذا فضلًا عن عدم ملاءمة اعتبار عنصرين كأنهما مستقلين في حين أنهما لا يكادان يفترقان في الخواص. ولهذا كان من الأفضل اعتبارهما عنصرًا واحدًا لذراته جميعًا نفس الشحنة النووية بغض النظر عن أوزانها، ومثل هذه الذرات تكون لها نفس الخواص الكيماوية.

ولا تختلف نظائر العنصر الواحد اختلافًا كثيرًافي الوزن، والسبب في ذلك ليس واضحًا كل الوضوح ولكن من الجلي أنه إذا كان عدد

البروتونات ثابتًا فعدد النيترونات التي يمكن اتحادهما معها لتكوين نواة ثابتة لا يمكن أن يتغير كثيرًا، ولهذا كان ترتيب العناصر على أساس وزنها الذري لا يختلف كثيرًا عن ترتيبها على أساس شخنتها النووية وذلك إذا روعي بالضرورة أن الوزن الذري كما يقاس كيماويًا هو متوسط وزن ذرات النظائر المختلفة منها العنصر.

وزيادة على ما للنواة من أهمية باعتبارها المركز الذي تتجمع حوله الإلكترونات الباقية ومالها من أهمية في تحديد كتلة الذرة فإنها كذلك تعين الخواص الإشعاعية للذرة إن وجدت. والصلة بين الشحنة النووية والخصائص الكيماوية تتبين بوضوح في خواص العناصر المشعة. ولما كان الجسيم الألفي يحمل شحنتين موجبتين فإن نتيجة مغادرة الجسيم الألفي للنواة هي إنقاص شحنتها بمقدار وحدتين، فهناك تغير في الخواص الكيماوية يناظر الرجوع إلى الوراء خطوتين في الجدول الدوري للعناصر، فمثلًا الراديوم نفسه وهو ينتمى كيماويًا إلى المجموعة المعروفة بالقلويات الرضية يفقد جسيمًا من جسيمات ألفا ويصير غازًا يسمى الرادون وهو عنصر خامل من الوجهة الكيماوية. وإذا تتبعنا الجدول الدوري وجدنا أن كل غاز خامل يتبعه بعد المكان الذي يليه عنصر من القلويات الأرضية.

وقد ثبت حدوث تغيرات في الخواص الكيماوية في جميع الحالات التي يحدث فيها انبعاث أشعة ألفا. أما في حالة أشعة بيتا التي تحمل شحنة واحدة من الشحنات السالبة فيترتب على انبعاثها زيادة صافي الشحنة

في النواة بمقدار وحدة واحدة، ونتيجة لذلك يحدث انتقال بمقدار مكان واحد في الاتجاه المضاد في الجدول الدوري، وهو ما تؤيده التجربة. فلنفرض – كما قد يقع أحيانًا – أنه قد حدث تغير نتيجة لانبعاث شعاع ألفا يتلوه تغيران متتابعان من انبعاث شعاعي بيتا، فعندئذ على الرغم من أن النواة كانت تفقد باطراد بعض مادتها، فإنها ستكون قد استنفدت شحنتها الأصلية وصارت نظيرًا لنفسها. وقد كانت مثل هذه الحالات موضع المشاهدة. على أن هذه النظائر وإن تطابقت خواصها الكيماوية فإن خواصها الإشعاعية تختلف، ذلك لأن الخواص الإشعاعية على هذا الأساس هي بالضرورة من خواص النواة، وأن الوضع الداخليالذي ستكون عليه النواة مختلف تمامًافي الحالتين، وهذا أيضًا قد أيدته التجارب بل لقد عرفت حالات تكون فيها ذرة مشعة نظيرة لعنصر يمكن أن يوجد أيضًا على صورة غير مشعة. فهناك رصاص مشع لا يختلف كيماويًا عن الرصاص العاديالذي قد يكون بعضه شواهد قوية تؤيد الرأي القائل بأن النشاط الإشعاعي هو تمزيق للنواة الذرية وأن الشحنة النووية تعين الخواص الكيماوية.

ولا يمكننا أن نخرج مما أوردناه حتى الآن بفكرة عن القدر (أو القد) الذي يمكن أن نحدده للنواة، ولكن حساب المسيرات التي تسير فيها جسيمات ألفا يدل في حالة الذهب على أن النواة تظل تعمل كأنها نقطة مثالية مشحونة بالكهرباء حتى في الحالات التي يقترب فيها شعاع ألفا إلى مسافة تعادل $\frac{1}{10000}$ من نصف قطر الذرة. والتنافر بين الشحنة الكبيرة (79 وحدة لنواة الذهب) وبين شعاع ألفا من العظم بحيث أن

هذه القذائف الذرية العنيفة نفسها لا تستطيع أن تقترب من النواة أكثر من هذا. وفي حالة ذرات العناصر الأخف تكون قوة التنافر أقل، ويكون في إمكان جسيمات ألفا أن تدنو لأقرب منذلك في الظروف الملائمة. وتدل تجارب الاستطارة التي أجريت على هذه العناصر الخفيفة على أن قانون التربيع العكسي للتنافر لا يصدق في حالة المسافات التي تقل عما ذكرنا سابقًا. وتوحي النتائج باعتبار قدر النواة يقرب من $\frac{1}{100000}$ من قدر الذرة.

والعملية التي أمكن بها الوصول إلى هذا التقدير عملية دون ما اتبع في قياس أبعاد الذرة من حيث اتجاها لغرضها مباشرة. ففي حالة الذرة استخلص القدر من تجارب على البلورات، ووجد في الواقع أن الذرات تتجمع معا متراصة كما لو كانت كرات ذات حجم معين تمل حيز البلورة.

وما دمنا نعلم عدد الذرات في حجم معلوم فاستنتاج أبعادها مسألة مستقيمة هينة. نعم إن القيم المستخلصة للذرة الواحدة من بلورات مختلفة ليست دائمًا متساوية تمامًا، و بهذا القدر يكون في الأمر شيء من الغموض ولكن استخلاص حجم النواة أو قدرها أقل مباشرة من ذلك، فلا محل هناك لافتراض أن النوى تتجمع معا متراصة جنبًا إلى جنب، وكل ما يمكن أن يقال هو إنه إذا كان تفسير التجارب صحيحًا فإنه يحدث تغيير في طبيعة القوى عندما تتقارب النوى في حدود المسافات.

الفصل الحادي عشر

بنية الذرة (2)

مناسيب[1] الطاقة

أوضحنا في الفصل السابق لماذا غلب الاعتقاد بأن البروتونات والنيوترونات في الذرة يرتبط بعضها ببعض فيتكون منها جميعًا جسيم صغير يسمى النواة.

وسنخصص غالبية الفصول الثلاثة التالية من هذا الكتاب لمحاولة إيضاح ما نعتقد به الآن من أمر هذه الإلكترونات ووضعها. ولما كانت الشحنة الواقعة على النواة تساوي الرقم الذري فإنها تكون مساوية كذلك لعدد الإلكترونات المحيطة بالنواة، لأن الذرة بوجه عام في حالة تعادل. ومنذ عشرين سنة كانت مهمة تفسير ترتيب الإلكترونات تبدو أيسر كثيرًا مما هي الآن، فقد كان يظن حينذاك أن هذه الإلكترونات تتحرك في أفلاك حول النواة على وجه قريب الشبه بحركة الكواكب حول الشمس، وكانت المجموعة الشمسية بمثابة أنموذج طبيعي على مقياس هائل لما يحدث داخل الذرة، حيث تمثل الشمس النواة وتمثل الكواكب الإلكترونات، ولكن السنوات التي تلت ذلك كشفت عن عدم ملاءمة هذا الرأي. ومع أننا قد وصلنا إلى نظرية لدينا كل الأسباب لاعتقاد

[1] مستويات levels

صحتها إلا أن هذه النظرية لسوء الحظ لا تسمح طبيعتها بالإفصاح عنها بصورة موجزة غير رياضية بالسهولة التي كانت ممكنة بالنسبة للنظرية القديمة.

ويرجع الفضل في ابتكار النظرية الكوكبية وتطورها إلى حد كبير للعالم الطبيعي الدنماركي العظيم نيلزبور، ومع أن كثيرًا من عمله قد نقح وعدل في ضوء المعلومات الحديثة فإنه قد بقي منه الكثير، ويشمل سائر المادة الباقية من هذا الفصل، بل إن ما حدث من أخطاء ربما كان مرحلة ضرورية لابد من اجتيازها. بل إن النظرية الحالية ما كان من الممكن ابتكارها لو لم تسبقها النظرية القديمة، ولعل الأرجح أنها لو قامت بغير سابقتها لعدت فكرة ثورية ورفض قبولها، فالنظرية القديمة هيأت الأذهان لنقلة أعظم تتحلل فيها عقول الناس من الآراء التقليدية، ومهدت الطريق لآراء جديدة بما أكدته من استحالة تفسير الأمور على أساس تلك الفكرة.

ونظرًا لما لهذه التغيرات من أثر في العقيدة العلمية، يبدو من المرغوب فيه كثيرًا عند معالجة هذه المسألة أن نحاول قدر المستطاع أن نقرر أولًا ما أصبح معروفًا على وجه اليقين عن طريق التجربة المباشرة، وأن نرجئ إيراد التفسيرات النظرية إلى مرحلة أخرى بعد ذلك. وأولى الحقائق البارزة المتصلة بهذه الإلكترونات التي تقع خارج النواة هي وجود ما نسميه مناسيب الطاقة.

وأساس هذه الفكرة أن كل إلكترون في الذرة بحاجة إلى مقدار معين من الطاقة لإبعاده نهائيًا من الذرة، بحيث أن لكل ذرة معينة ولكل إلكترون معين مقدار معين من هذه الطاقة خاص بهما، وإن كان يصح أن يكون أكثر من إلكترون واحد في منسوب واحد من الطاقة خاص بهما. ويمكن تشبيه الإلكترونات في الذرة بماء في قناة أقيمت عليها سدود على عدة مناسيب مختلفة، فبين كل سدين يكون الماء على مستوى معين، فإذا أخذنا ارتفاعًا عاليًا كالخزان الذي تملأ منه القناة مثلًا واعتبرناه هو المنسوب المقابل لإخراج الإلكترون من مستوى الطاقة المناظر.

وهذه الفكرة تبدو من البساطة بحيث قد يجدر بنا معها أن نذكر أنها تناقض تمامًا ما كنا نتوقعه لو أننا اعتبرنا الإلكترونات كحشد من الجسيمات تخضع للقوانين الميكانيكة العادية، فجسيمات مثل هذا الحشد ستكون بصفة عامة دائمة التبادل الطاقة بعضها وبعض، لن يكون هناك مقدار معين من الطاقة مرتبطًا ارتباطًا دائمًا بأي من هذه الجسيمات. وقد جاءت بعض الشواهد المؤيدة لهذا الرأي عن تجارب وصفت من قبل. فمثلًا وجود ما سميناه جهد التأين يدل على أن في كل ذرة إلكترونًا واحدًا على الأقل قابلًا لأن يفصل عنها إذا أمد بمقدار معين من الطاقة نتيجة لاصطدامه بإلكترزن طليق يتحرك بسرعة. والواقع أن جهد التأين الذي وجد عن طريق هذه التجارب ليس إلا واحدًا من كثير. فأي إلكترون في الذرة يمكن إخراجه باصطدامه بإلكترون طليق له الطاقة الكافية. ويمثل جهد التأين الذي تناولنا عنه الكلام إلى الآن الطاقة اللازمة لإخراج الإلكترون المعين الذي يتفق أن يكون أقل استمساكًا من

غيره، ويمكننا أيضًا أن نتحدث عن عدد من جهود التأين يناظر كل منها واحدًا من إلكترونات الذرة.

وهناك طائفة أخرى من التجارب أجريت، وهي إن لم تكن من الناحية التاريخية أسبق التجارب في هذا الباب إلا أنها أكثرها إقناعًا. فطبقًا لنظرية آينشتين الخاصة بالظاهرة الفوتوكهربائية أو الأثر الضوئي الكهربائي، تحوي الكمة الواحدة من الإشعاع طاقة تساوي ترددها ه من المرات وفي استطاعتها إعطاء هذه الطاقة كلها لإلكترون مفرد، وفي حالة الأثر الفوتوكهربائي العادي تجرى التجارب بضوء معتدل التردد نسبيًا يقع في الطيف المرئي أو قريبًا منه، لكن هب أننا استعملنا بدلًا منه الأشعة السينية التييزيد ترددها على ذلك زيادة هائلة، ففي هذه الحالة تكون طاقة الكمة متناسبة مع هذه الزيادة العظيمة في التردد، ولا تقتصر هذه على أن تسبب انبعاث الإلكترونات الأضعف ترابطًا فحسب، بل إنها تسبب انبعاث الإلكترونات الأخرى كذلك.

فلنفرض إذن أن حزمة من الأشعة السينية ذات تردد كافٍ سقطت على قطعة صغيرة من عنصر ما فإنها تسبب انبعاث إلكترونات من جميع مختلف المستويات الممكنة للطاقة وكل كمة منها تبعث إلكترونًا واحدًا. فإذا كانت الأشعة السينية كلها ذات تردد واحد فإن كل كماتها ستكون متحدة الطاقة وكل إلكترون منبعث سيحوي هذا القدر من الطاقة مطروحًا منه قيمة الطاقة اللازمة لنقله من منسوب الطاقة الذي كان فيه، وبهذا تكون الإلكترونات من أية مجموعة كبيرة من الذرات

التي تؤلف كمية صغيرة من المادة مكونة من مجموعات من الإلكترونات ذات الطاقات المختلفة، مجموعة واحدة لكل منسوب واحد من مناسيب الطاقة للذرة.

ومن الممكن عن طريق التجربةالعملية فصل الإلكترونات المختلفة الطاقة بإمالتها في مجال مغناطيسىي، ومنثم نتبين أنها تقع في عدد من المجوعات المحددة كما تنبأنا من قبل. وبمعرفة طاقة أية مجموعة وطاقة كمة الأشعة السينية المستخدمة يمكن بالطرح تعيين قيمة منسوب الطاقة المناظر. وقد أمكن استنباطمناسيب الطاقة بطريق آخر، فكمة الإشعاع إنما تستطيع إزاحة الإلكترون إذا كانت طاقتها أكبر من الطاقة المناظرة لمنسوب الطاقة المعين لهذا الإلكترون، فإذا فرضنا أن أشعة سينية تمر خلال لوح من مادة معينة وأن ترددها يزيد بالتدريج بكيفية ما، فإن التردد عندما يصل إلى مقدار تكون فيه الكمة معادلة لمنسوب الطاقة الخاص بمجموعة معينة من الإلكترونات تصبح هذه الإلكترونات لأول مرة قابلة للانبعاث. وانبعاث الإلكترونات سيسلب بطبيعة الحال الأشعة السينية بعض طاقتها بحيث أن امتصاص حزمة من الأشعة يزيد ترددها قليلًا على القدر اللازم لانبعاث إلكترون يزداد زيادة فجائية عن امتصاص حزمة من الأشعة ترددها أقل قليلًا. وقد دلت التجارب على أن هذه التقطعات في الامتصاص أو «حواف الامتصاص»، كما يطلق عليها، أمر يستدعي الملاحظة بشدة، والترددات التي تحدث عندها إذا ضربت في ه أنتجت القيم المعروفة لمناسيب الطاقة.

وكما توقع قد وجد أن عدد مناسيب الطاقة يزداد كلما ازداد ثقل الذرة ولكن هذا العدد يقل دائمًا عن عدد الإلكترونات الطليقة التي يجب أن يدبر لها مأوى، أي أن كل منسوب للطاقة يجب أن يؤوي عددًا من الإلكترونات وتظهر الذرات جميعها عددًا من المناسيب لا تزيد طاقتها على نحو 20 فولت،في حين أن الحد الأعلى يزداد بازدياد العدد أو الرقم الذري ابتداءً من مقدار معادل لما سبق إلى نحو 120000 فولت في حالة اليورانيوم. والترتيب العام هو على صورة مجموعات من مناسيب قليلة لا تختلف كل مجموعة في ذاتها كثيرًا ولكنها تختلف اختلافًا بعيدًا عن المجموعة التالية.

والمعتاد أن يطلق على مناسيب الطاقة التي تحتاج إلى طاقة كبيرة لإزاحة إلكتروناتها مناسيب منخفضة أو «عميقة » لأن هناك من الأسباب ما يحمل على الظن بأن الإلكترونات التيفي هذه المناسيب على وجه الإجمال أقرب للنواة من الإلكترونات التيفي المناسيب العالية، ولكن يجدر ألا نعتبر هذه المصطلحات دالة حتمًا على أن المناسيب هي مجرد أمر يتصل بالموقع فقط.

وعندما تتأين ذرة بإخراج إلكترون من أحد مناسيب الطاقة فيها يكون بها زيادة في الطاقة فوق المعتاد، وتتخلص من هذه الزيادة بالإشعاع. والمنسوب الذي خلا بخروج هذا الإلكترون يشغله إلكترون يهبط من أحد المناسيب العالية، والفرق بين الطاقتين يخرج من الذرة على صورة كمة من الإشعاع تخضع هي الأخرى لقانون آينشتين، أي أن

ترددها يتحدد بالطاقة الميسرة (وهيفي هذه الحالة فرق ما بين منسوبي الطاقة) مقسومًا على **h**، وعندما يجيء الإلكترون الأصلي من أحد المناسيب المنخفضة يكون هذا الإشعاع عادة في منطقة الأشعة السينية من الطيف. والواقع أن أطياف الأشعة السينية كما درسها موزلي تفسر على هذا الوجه بحيث أن قانون موزلي الخاص بالتغير المنتظم في تردد الأشعة السينية التي تنتجها ذرات مختلفة الرقم الذري معناه في الواقع حدوث تغير منتظم في طاقات المناسيب المختلفة تبعًا لاختلاف الرقم الذري.

وعدا هذه المناسيب التي تناولها إلى الآن والتي يشغل كلًا منها في الأحوال العادية إلكترون أو أكثر، توجد مناسيب محتملة خارج الذرة العادية يمكن أن يزاح إليها إلكترون إما بانقضاض إلكترون خارجي طليق عليها أو بفعل الإشعاع، ومن هذه المناسيب يعود الإلكترون سريعًا إلى وضعه العاديبعد أن تنبعث منه كمة من الإشعاع ترددها يمكن تعيينه بنفس القاعدة السابقة.

ولقد مر بنا مثل من أمثلة هذه المناسيب في حالة إشعاع الرنين الذي سبق أن وصفناه. وهذه المناسيب الخارجية لا تختلف عن أقرب المناسيب العادية منها إلا بعدد قليل من الفولت. ونتيجة لهذا يكون الإشعاع ذا تردد صغير نسبيًا، ويقع عادة في منطقة الطيف المرئي. وقد وجد أن هذا الرأي يتفق تمامًا مع الترددات الملاحظة على خطوط الأطياف، ويمكن اعتبارها جميعًا ناتجة عن الفرق بين منسوبين من مناسيب الطاقة مقسومًا على **h**. و بهذه الوسيلة يخف كثيرًا ما يبدو من تعقد

فيالأطياف، فطيف كل عنصر ناتج من عدد قليل من مناسيب الطاقة مأخوذة زوجًا زوجًا لتعطينا الفروق بينها.

والمرحلة الأولى لتحليل طيف عنصر ما هي معرفة مناسيب الطاقة للخطوط التي نشاهدها عمليًا بإجراء عملية طرح. وقد وجد فوق هذا أن مناسيب الطاقة هذه –في حالة الأطياف البسيطة على الأقل – لها صلة عجيبة بالأعداد الكاملة، ولإيضاح طبيعة هذه الصلة لا مفر لنا من بعض عبارات أو تعبيرات جبرية بسيطة، فذرة الهيدروجين، وهي أبسط الذرات، لها بالضرورة أبسط الأطياف وهي تتكون من مجموعات من الخطوط مرتبة على صورة تشير بوضوح إلى انتظام في تكوينها. وثلاثة من هذه المجموعات، أو السلاسل كما تسمى، ظاهرة للعيان، فتردداتها يمكن التعبير عنها بالعبارات الجبرية الآتية:

$$\text{ن}\left(1-\frac{1}{\text{ن}^2}\right) \text{ ، } \text{ن}\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{\text{ن}^2}\right) \text{ ، } \text{ن}\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{\text{ن}^2}\right)$$

حيث ن رمز لعدد معين، ن هي إحدى سلاسل الأعداد الكاملة 2 ، 3 ، 4..إلخ في الحالة الأولى، و3، 4، 5 إلخ.. في الحالة الثانية، و4، 5، 6..إلخفي الحالة الثالثة. ونود أن نلفت النظر أولًا إلى أن هذا القانون ينطبق على القاعدة التي أوردناها، فالتردد فرق بين كميتين، وزيادة على هذا فإن مناسيب الطاقة المناظرة (أو الحدود كما يطلق عليها عادة عند التكلم عن الأطياف) هي على صورة $\frac{h\,\text{ن}}{\text{ن}^2}$ وبهذا تتناسب عكسيًا مع

مربع سلسلة من الأرقام الصحيحة. وهذه النتيجة الخاصة الغريبة (ومثيلاتها الأكثر تعقدًا بقليل التي تنطبق على سائر الأطياف) توحي بوجود نوع من الذرية داخل الذرة نفسها فلا يقتصر الأمر على أن الذرة مكونة من أعداد صحيحة من مكوناتها الأساسية الإلكترونات خارج النواة، محكوم أيضًا بأعداد صحيحة.

والنظريات المختلفة التي حاولت خلال السنين وصف بنية الذرة كان أهم ما تعنيبه هو إيجاد تفسير مقبول لهذه القاعدة العجيبة، وفي الأطياف الأشد تعقيدًا يظهر امتداد هام لهذه القاعدة العجيبة،فيتميز منسوب الطاقة بمجموعة من عدة أعداد صحيحة تصل إلى أربعة في أعم الحالات بدلا من عدد صحيح واحد. فإذا كنا في سبيل تكوين صورة نعتبر وجود إلكترون ما في منسوب معين للطاقة أمرًا يدل على وضعه في مكان معين فمؤدى هذه القاعدة أننا بحاجة لأربعة مقادير لكي نحدد هذا المكان. فتصور مدينة رسمت على الطريقة الأمريكية بحيث يحدد رقم لكل شارع من شوارعها جميعًا وكل شارع مكون من عمارات بها مجموعات من الشقق، فسنجد أننا بحاجة لرقم يحدد الشارع ورقم ثانٍ يحدد موضع العمارة في الشارع ورقم ثالث يحدد الشقة في العمارة ورقم رابع يحدد الغرفة المعينة في الشقة التي يقطنها الإلكترون. وسيتبين عاجلًا أن الإلكترونات المشتركة في بعض هذهالأرقام ستكون مشتركة أيضًافي خصائص معينة، فمثلًا قد يكون فريق منها في شقق الدور الأرضي وقد يكون فريق آخر كله في شارع واحد وهكذا. وهذه الأرقام التي تحدد

(7– ذرة)

عنوان الإلكترون – إذا جاز لنا أن نطلق عليها ذلك – أو على الأصح التي تحدد لنا منسوبه تسمى أرقام الكمة وإن كان علينا أن نبين ما دخل الكمة في هذا الأمر. ولعلنا لا ننسى أن عدد المناسيب داخل الذرة أقل من عدد الإلكترونات. ويظهر أن هذا إلى حد ما أمر عرضي، فإذا وضعت الذرات قريبًا من مغناطيس قوي فإن بعض المناسيب التي كانت متكافئة من قبل تصير مختلفة كما يتجلى ذلك في تفرق الخطوط الطيفية.

ويكاد يكون محققًا أن عدد الأوضاع إذا ميزت تمييزًا كاملًا بأرقام الكمة لكل منها تكون مساوية لعدد الإلكترونات بلا زيادة. ولكن بعض هذه الأوضاع تكون متكافئة في الأحوال العادية على الأقل من حيث الطاقة، فكل إلكترون له عنوان معين، ولا يسمح في المرة الواحدة لأكثر من إلكترون بشغل غرفة واحدة. وهذه القاعدة تصدق على المناسيب المشغولة عاديًا، وعلى المناسيب التي يستطيع الإلكترون أن يبقى فيها بصفة مؤقتة. أما الازدحام الزائد فمحظور بحكم القانون في هذه المدينة الذرية المتخيلة. وهذه القاعدة تعرف بقاعدة العزلة لباولي، وخاصية أخرى هي أن أحد الأرقام الأربعة لكمة لا يكاد يكون رقمًا أصلًا فهو مقصور على احتمالين كأنما في كل شقة غرفتان وكأنما هاتان الغرفتان مرتبطتان إحداهما بالأخرى ارتباط القفاز الأيمن بالقفاز الأيسر، ومع هذا فمن الفضل أن نميزها بأن نحدد لإحداهما العدد + $\frac{1}{2}$ و للأخرى – $\frac{1}{2}$، وعلة هذا الاختبار هي أنه يسمح بتبسيط القواعد التي تربط بين الطاقات وبين أرقام الكمة.

الفصل الثاني عشر

النظرية الموجية للمادة

منذ نحو عشرين سنة مضت كانت أرقام الكمة التي تكلمنا عنها في الفصل السابق تحدد بأشكال وأقدار أفلاك معينة كان يظن أن الإلكترونات تسبح فيها كما تسبح الكواكب حول الشمس،

وعلى رغم ما أحرزته هذه النظرية من نجاح باهر وخاصة في تفسير الأطياف فإنها تتداعى تدريجيًا. وتترك مكانها لنظرية أخرى. وهذه النظرية الأخرى وإن كانت قد بدأت من وجهة نظر تختلف اختلافًا كليًا عن سابقتها، إلا أنها أفلحت في أن يكون لها ما كان لسابقتها من نجاح في تفسير الأطياف مع تخلصها من الاعتراضات الهامة التي كانت توجه لها، ويرجع الفضل في قيام هذه النظرية إلى البرنس لويس دي برولي، وفيما أدخل عليها من تحسينات كبيرة إلى شرودنجر وآخرين.

وسنورد في الفصل الحالي بيانًا عن النظرية التي تتسم بأنها بالغة الأثر من حيث تناولها الأمور من أساسها ومن حيث شمولها وتغلغلها. وسنرجئ لفصل آخر امر تطبيقها على بنية الذرة.

لقد غلب على الأذهان إلى حين الميل إلى الاعتقاد بأن حل المشكلة الضوئية الكهربائية سيأتي عن طريق شيء من الربط والمزج بين

فكرتي الأمواج والجسيمات بحيث يتيسر للجسيم حمل الطاقة ويتيسر للموجة بكيفية ما تعيين حركة الجسيم. ومن السهل تفسير نظرية آينشتين إذا كانت الطاقة الإشعاعية في الواقع مجمعة فيجسيمات فردية تسبح بسرعة الضوء ولكل منها مقدار من الطاقة يساوي ترددها **h** من المرات. وليس هناك ما يمنع من أن نتصور أن جسيمًا كهذا إذا مر بجسيم فإنه يستطيع أن يقدم كل طاقته لأحد الإلكترونات فيه، وهذا كل ما تحتاج إليه. ففي حزمة من الضوء تعين طاقة كل من الجسيمات بوساطة طول الموجة، وذلك أنها تتناسب عكسيًا مع التردد، بينما يتوقف عدد الجسيمات في حزمة الضوء على شدتها. وبهذا تكون السرعة التي تنطلق بهاالإلكترونات غير متوفقة على شدة الحزمة الضوئية إذا ما استبعدنا الاحتمال البعيد وهو أن يصطدم الإلكترون في نفس الوقت بجسيمين.

إلى هنا يمكن اعتبار ذلك كله رجوعًا إلى النظرية الجسيمية في الضوء وبهذا تكون النظرية هدفًا للاعتراضات التي أدت إلى استبعاد تلك النظرية الجسيمية في بداية القرن التاسع عشر. وهذه الحقائق التي استند إليها في الاعتراض هي الحيود، وهي العملية التي يتثنى فيها الضوء قليلًا ويدخل منطقة الظلال، والتداخل، وهو العملية التي من شأنها أن ينتج عن انضمام حزمتين من الضوء حدوث إعتام في أماكن معينة يعوضه سطوع زائد في أماكن أخرى. ومع هذا فإننا إذا استبعدنا الفكرة القائلة بأن الجسيمات تسير بطبيعتها في خطوط مستقيمة، واعتبرنا أن حركتها تتعين بنظام ما من الأمواج المصاحبة، أمكننا أن نبتدع فكرة تظهر بمقتضاها الجسيمات في أعداد كبيرة كلما اشتدت الأمواج وفي أعداد

قليلة كلما ضعفت. فإذا كان عدد الجسيمات يعين الشدة فمؤدى هذا أن يكون توزيع الضوء والظلام متفقًا مع ما يحدث من اعتبار الضوء على صورة موجات.

وهذه النظرية شديدة الشبه بنظرية نيوتن للضوء التي ابتكرها كتعديل لنظريته الجسيمية الأصلية للضوء عندما ظهر أنه لا مناص له من تعليل آثار التداخل التي اكتشف هو بعضًا من أبرز أمثلتها، ومن أعجب ما حدث في تاريخ العلوم أن هذه النظرية التي نبذت في أوائل القرن التاسع عشر باعتبار أنها تؤدي إلى ارتباك لا داعي له، تعود إلى الظهور ثانية نتيجة لبعض المكتشفات كالأثر الضوئي الكهربائي وهي مكتشفات لم تكن تدور بخلد أحد عند وضعها، ويرجع الفضل لما فيها من حيوية إلى بعد النظر العلمي العجيب الذي امتاز به نيوتن جزء من قاعدة عامة أعمق أساسًا.

فطبقًا للنظرية النسبية يجب أن تكون قوانين الطبيعة من نوع يجعلها سواء في نظر كل من يلاحظها فلا يكون لملاحظ ميزة في ذلك التردد ليس في ذاته من هذا النوع من القوانين، ولكنه يصبح كذلك إذا وصلناه بقانون آخر يربط بين كمية التحرك ذلك المقدار الذي يساوي طبقا لميكانيكا نيوتن حاصل ضرب الكتلة ك في السرعة ع. والصيغة الجديدة مؤداها أن أي جسيم تصحبه (أو ترتبط به) موجة طولها يساوى خارج قسمة h على كمية التحرك أو بالرموز = $\frac{h}{\text{ك ع}}$ وزيادة على هذا، ففي الحالة التي يكون فيها هذا الطول الموجي صغيرًا فإن مسار الجسيم

يتطابق تمامًا مع الأشعة المرتبطة بالموجة، فقد عرف من عهد بعيد أن فكرة سير شعاع االضوء في طريق مستقيم ليس إلامجرد تقريب للكيفية التي تنتشر بها الأمواج، وهو شديد القرب من الحقيقة في الحياة العملية لأن الطول الموجي للضوء صغير جدًافي الواقع.

ويقرر أول قوانين نيوتن للحركة أن أي جسيم لاتؤثر فيه قوة ما يسير فيخط مستقيم بسرعة ثابتة، وهذا يعتبر طبقًا لوجهة النظر الجديدة مجرد تقريب لقانون أدق تربطه به نفس العلاقة التي تربط بين فكرة سير أشعة الضوء في خط مستقيم وبين القوانين الأدق التي تتحكم في انحنائها الطفيف أو تسيطر عليه. ونحن بهذا قد حولنا دفة الصعوبة التي تبدو في المسلك الخاص بكمات الضوء بقولنا إنها في الواقع هي المسلط الطبيعيالذي يتوقع من أي جسيم. ولكن من الواضح أن مثل هذه الطريقة في التهرب تؤدي بنا إلى صعوبة أخرى هي ضرورة تفسير العلة في أن جسيمات أخرى تبدو على الأقل كأنها تسير وفق ما قرره نيوتن. فمن حيث مسلك الأجسام ذات الأحجام العادية وكذلك أيضًا الأجسام الأكبر جرمًا كالكواكبفالصعوبة تواجه بالقيمة الصغيرة جدًا التي كان علينا أن نحددها للرمز **h** فالطول الموجيفي الواقع من الصغر بحيث أن التقريب الناشئ عن إحلال الأشعة محل الأمواج هو في كل الظروف العملية إجراء دقيق لا عيب فيه، ولكن هذا لا يصدق في حالة الجسيمات البالغة الصغر، ففي حالة الإلكترون ذي الطاقة المناظرة لفولت ونصف (وهو ما يقرب من طاقة الإلكترونات القريبة من فتيل

الصمام) يكون الطول الموجي 10^{-7} أو جزء من عشرة ملايين من أجزاء السنتيمتر، وهو مع صغره خمسة أمثال قدر الذرة.

ولأشعة الكاثود ذات الطاقة التي تبلغ 15000 فولت يكون الطول الموجي جزءًا منمائة جزء من هذا أو ما يقرب من طول شعاع سيني شديد، ولعلنا نذكر أن الأطوال الموجية لأشعة س كانت تقاس باستخدام بلورات لاستطارتها، وكانت الأنماط أو التشكيلات المنتظمة للذرات في البلورة تبدو لنا بوساطة تكون حزم متفرقة من أشعة شديدة نسبيًا في اتجاهات خاصة معينة، وهذا ما يجب أن نتوقعحدوثه لأشعة الإلكترونات، وقد أجريت هذه التجارب بالفعل على يد دافيسون وجرمر في الولايات المتحدة، كما أجراها مؤلف هذا الكتاب وآخرون في بريطانيا.

وفي التجارب التي أجراها المؤلف كانت أشعة الكاثود ترسل خلال غشاء فلزي رقيق. والفلز العادي هو مجموعة بلورات ذات حجم ميكروسكوبي يتماسك بعضها ببعض بمادة لاصقة غير بلورية، ولكل بلورة صغيرة اتجاهاتها المفضلة التي تميل الأمواج للسير فيها. وقد بحث الأثر الذي يحدث للأشعة السينية عند مرورها خلال كتلة من البلورات البالغة الصغر بحثًا كاملًا شاملًا، وقد أدى ذلك في الواقع إلى تطبيقات عملية في التعدين.

فإذا مرت حزمة ضيقة من الأشعة السينية خلال فلز ثم استقبلت على لوح فونوغرافي عمودي على الحزمة، فإن الأشكال الحادثة تكون

دوائر متحدة المركز يقع مركزها في النقطة التي تسقط فيها الأشعة على اللوح سقوطًا مباشرًا(في غيبة الفلز). ويمكن تقدير اتساع دوائر التداخل بمعرفة الطول الموجي للأشعة السينية والتكوين الذريللبلورة. أما إذا استعملت الإلكترونات بدلًا من الأشعة السينية فإننا نواجه صعوبة ناشئة عن ضعف قوة اختراقها فبدلًا من أن تستعمل قطعة من الفلز ذات حجم عادي يصبح من الضروري استعمال أغشية رقيقة من الفلز يقل سمكها عن جزء من مليون جزء من البوصة. وهذه الأغشية شديدة الشفافية وهي لا تحجب الضوء بأكثر مما تحجبه قطعة من الزجاج ملونة تلوينًا خفيفًا. وإذا وضعت قريبًا من العين أمكن للإنسان أن يرى خلالها لبنات البناء الذي يقع على جانب الطريق لبنة لبنة.

فإذا استعملت أغشية كهذه واستقبلت الإلكترونات التي تمر خلالها على لوح فوتوغرافيفي وضع كالوضع الذي كان في حالة الأشعة السينية، تكونت أشكال مماثلة تمام المماثلة في طبيعتها للأشكال التي تكونت بالأشعة السينية في نفس الفلز، ولكن لما كان الطول الموجي للإلكترونات أقل فإن الصورة جميعها تكون أصغر من الصورة المكونة في حالة الأشعة السينية.

وقد أمكن الوصول إلى اتفاق تام مع نظرية دي برولي، فإن اتساع حلقات التداخل هو ما كان يتوقع تمامًا من التركيب المعروف لبلورة الفلزات. والتفاوت بين اتساع الحلقات تبعًا لسرعة الإلكتروناتهو ما تنبأت به قوانين دي برولي للطول الموجي، وقد أمكن تعيين الاتساع

الواقعي للحلقات بدرجة بالغة الدقة. ويبدو أن الإلكترونات مرتبطة بالأمواج على النحو الذي تصوره دي برولي، وقد تأيدت النظرية كذلك في حالة ذرات الهيليوم، وتكاد تتأيد كذلك في حالة نوعين آخرين من الجسيمات، ويبدو أن احتمال صحة النظرية قوى جدًا في اعتبارهما أن العلاقة بين الأمواج وبين حركة الجسيم هي علاقة شاملة تمامًا.

ولكن هذه النظرية تثير مشاكل صعبة كثيرة، فنتائج التجارب تقتضي أن نفرض أن الأمواج تكتنف منطقة واسعة، وواضح أن هذه المنطقة لابد وأن تشمل عددًا كبيرًا من الذرات وإلا تعذر أن يتم الأثر الذي تتوقف عليه الظاهرة كلها وهو التباعد المنتظم بين الذرات. ولكننا إذا اعتبرنا الأمواج على أي وجه مكونة جزءًا من الإلكترون، فمعنى هذا أن يكون الإلكترون أكبر من الذرة، و هذا لا يتفق مع وجود عدد من الإلكترونات كأجزاء في الذرة الواحدة. يبدو لنا من هذا أن تصورنا لحجم أو قدر الإلكترون كله تصور خاطئ. إننا في تفكيرنا العادي نعتبر الفراغ الذي يشغله جسم هو المنطقة التي يمارس خلالها قوة عظيمة ضد أى شيء يحاول التدخل في شئونه، وحدود هذه المنطقة بالنسبة لأي جسم صلب عادي تكون واضحة تمامًا ويمكن قياسها بدقة كبيرة، أما في حالة الذرة فلابد أن نتوقع شيئًا قليلا من الغموض ولو من الوجهة النظرية إذ لو فرضنا قوة تدفع جسمًا يحاول تحسس منطقة ما فإن هذه القوة يصعب تصور ظهورها بصورة مفاجئة تمامًا عند نقطة متناهية في الصغر.

وقد رأينا في حالة الذرات أنه ربما كان من الضروري أن نسمح بدرجة محسوسة من الغموض بالنسبة لأقدراها وإن كنا في هذه الحالة يمكن أن نعتبر القدر شيئًا محدودًا لدرجة تكفي لتقدير قيمته على وجه التقريب. أما بالنسبة للإلكترون فيبدو أن القدر ليس إلا المنطقة التي يؤثر فيها بقوته وأن هذه المنطقة ليست ذات حدود تمامًا قد تكبر أو تصغر تبعًا للظروف. ولما كان الإلكترون يستطيع نقل كل طاقته بالاصطدام، فلابد أن تكون الطاقة فيه مركزة لدرجة عالية، لكن لا يبدو في استطاعتنا،في الوقت الحاضر على الأقل، أن نحدد له أبعادًا معينة،وقصارى ما نستطيع هو أن نفترضه مؤقتًا نقطة رياضية.

وقد يعطينا هذا صورة للإلكترون شبيهة بالعناكب الصغيرة التي تستخدم نسيجها لكي تسبح خلال الهواء بأن تتعلق في وسط عدد من الخيوط فيمسك الهواء بالنسيج ويحمل العنكبوت حيث يسير، وكذلك النقطة التي تمثل طاقة الإلكترون تحكمها الأمواج التي تحيط بها، ومن الممكن أن تمتد إلى مسافة غير محددة في كل الاتجاهات،فإذا اجتازت الأمواج عقبة من العقبات كذرة مثلًا تعدلت اتجاهاتها وانتقل هذا التعدل إلى الإلكترون فيتأثر بذلك مسيره، وبهذا تكون الأمواج بمثابة قلم مخابرات للإلكترون يضبط مسيره تبعًا لانتشار المادة التي يجدها حوله، فقد يتأثر الإلكترون بذرات لم يمر قط بالقرب منها وبهذا يمكن تفسير تأثير هذا النسيج المنتظم الواسع الانتشار.

أما مسألة كنه هذه الأمواج أو طبيعتها، فأمر على جانب كبير من الصعوبة، فالأمواج المادية كأمواج الماء أو أمواج الهواء التي يتكون منها الصوت تحتاج بلا مراء إلى وسط ينقلها، وفي حالة أمواج الضوء حيث لا يوجد وسط مادي بالمعنى الذي يفهم للكلمة بالفطرة السوية، فقد اضطر علماء الفيزيقيا فيما مضى إلى افتراض وسط شبه مادي، وهو الأثير؛ وهو الذي يعهد إليه بمهنة نقل الأمواج. ويميل الاتجاه الحديث الذي دعمته نظرية النسبية إلى أن يجعل الأثير كل يوم أقل مادية وأن يعتبره لا أكثر من اسم آخر للفضاء. وحتى لو كان الأثير المادي أمرًا مقبولًا فإنه لا يكفي بغير تعديل لتفسير الأمواج الإلكترونية، فكل صور الضوء، مهما اختلفت أطوالها الموجية، تسير في الفضاء بنفس السرعة، فهذه السرعة إذن من الأمور الثابتة في الطبيعة، وقد أكدت النظرية النسبية هذا الثبوت كصفة أساسية.

والأمواج التي تصحب الإلكترون هي على وجه التحديد لا تسير بسرعة الضوء، فهي طبقًا لنظرية دي برولى تسير بسرعة أسرع بكثير، وكلما بطؤ سير الإلكترون زادت سرعة الأمواج. وتبدو هذه النتيجة لأول وهلة مناقضة لنظرية النسبية التي تقرر أنه لا يمكن أن تنتقل إشارة بأسرع من سرعة الضوء، ولكن من هنا في الواقع يأتي تفسير ذلك، فالأمواج الإلكترونية من حيث هي أمواج إلكترونية لا يمكن أن تنقل إشارة لأنها لا تحمل طاقة فلذلك كله مرتبط بالإلكترونات، والتأثيرات التي يمكن مشاهدتها لا يمكن أن تنشأ إلا مع وجود الإلكترون؛ وإذن فلا يمكن أن تسير إلا بسرعته وهيبالضرورة أقل من سرعة الضوء دائمًا،

والأمواج في الواقع يجب اعتبارها دائبة الحركة خلال الإلكترون من جهة الخلف بحيث يتلقى الإلكترون على الدوام فيضًا جديدًا منها.

ولكن هناك خاصية معينة أو صفة مميزة لهذه الأمواج ترتبط بالإلكترونات وتتحرك معها وهذه تسمى صفة «المجموعة» ويمكن تبسيط الأمر إلى حد ما عن طريق الأمواج المائية، فالأمواج عند مقدم السفينة ليست إلا اضطرابات لا يتغير شكلها، ولو أن موجة من هذا القبيل تكونت في البحر الطلق وتركت وشأنها لتكسرت إلى سلسلة طويلة من الأمواج كما يحدث عند إلقاء حجر في بركة، حيث يبدأ اضطراب غير منتظم يصل إلى الشاطئ البعيد على صورة سلسلة منتظمة من الأمواج. والسرعة التي ينتشر بها اضطراب كموجة المقدمة بعيدًا عن السفينة تختلف اختلافًا تامًا عن الموجة البسيطة التي تكاد تشبهها.

وهناك مثل آخر يمكن أن نضربه وهو البحر الهائج العاصف، فهذا لا يكاد في أكثر الأحوال يحدث سلسلة منتظمة من الأمواج كالصورة المعروفة لنا، فالمعتاد أن نرى فيه مناطق يشتد فيها الاضطراب تتبادل مع مناطق يسودها هدوء نسبي، ولكن السرعة التي تتحرك بها منطقة الاضطراب إلى الأمام تختلف اختلافًا كليًا عن سرعة أية موجة من الموجات الفردية التي ساهمت في تكوينه. فسرعة الاضطراب هي سرعة «المجموعة» تمييزًا لها عن سرعة الأمواج الفردية، ففي الأمواج المائية كما هو الحال في الأمواج الإلكترونية تكون سرعة المجموعة هي السرعة التي تسير بها الطاقة. أي أنه في حالة الأمواج الإلكترونية تكون سرعة

المجموعة مساوية لسرعة الإلكترون، فهو بذلك يتحرك مع مجموعة ثابتة على الرغم من أن الأمواج التي تتكون منها المجموعة تتحرك بصفة دائمة خلالها. وسرعة المجموعة هيالتي تعنينا في أهم ما نرمي إليه من أغراض.

والواقع أن السرعة الموجية تبدو في طبيعتها كأنها نوع من التجريد الرياضيمن حيث احتمال استحالة قياسها بطريق مباشر.

ومن الممكن أن نضع نظرية نعلل بها أكثر الحقائق على أساس أن وجود الإلكترون من شأنه أن يعدل الأثر ويعدل تبعًا لذلك سرعة الأمواج خلاله، ولكن قد يكون من الأوفق أن تتسم نظرتنا للأمواج بسمة أقل مادية، فالموجة في أساسها شيء من الأثر ينتشر طبقًا لقوانين معينة، وهذا الأثر وإن كان في العادة تحرك شيء ما فلا يبدو أن ثمة ضرورة منطقية لاعتبارها كذلك، فعندما نتحدث عن سريان موجة من الشعور فيأنحاء بلد فليس هذا مجرد استعمال مجازي للفظ، فحالة الشعور أو الحالة العاطفية قد يكون انتشارها طبقًا لقوانين تشبه قوانين انتشار الأمواج، وفي هذه الحالة يكون من حق الإنسان أن يتكلم عنها أنها موجة كما هو الحال لو أنها كانت تمثل حركة واقعية. وكل التأثيرات التي لوحظت إلى اليوم قد أمكن تفسيرها على اعتبار أن الموجات الإلكترونية تمثل انتشار حالة في الفضاء الذي تمر خلاله، وهذه الحالة هي حالة المقدرة على توجيه الإلكترون فياتجاه معين،وهذا الرأي قريب قربًا يثير الدهشة من وجهة نظر نيوتن في انتشار الضوء ويمكن توضيحه بالفقرة التالية المترجمة عنه: «إن الذين لا يميلون إلى تقبل أي اكتشاف

جديد إلا إذا كان من الممكن تفسيره بفرض نظري يمكنهم أن يتصوروا إلى حين أنه كما أن الأحجار إذا سقطت على الماء تحدث فيه حركة تموجية، وكما أن الأجسام كلها إذا قرعت أثارت اهتزازات في الهواء، فكذلك الأشعة الضوئية تحدث اهتزازات في الوسط أو المادة التي تمر بها، وأن هذه الاهتزازات الحادثة تنتشر في الوسط الذي يتكسر فيه الضوء أو ينعكس بطريقة تشبه إلى حد كبير انتشار الاهتزازات في الهواء مسببة حدوث الصوت، وتتحرك بحركة أسرع من الأشعة حتى تسبقها، وأن كل شعاع يتعدل وضعه على التوالي ليسهل عكسه أو نقله بوساطة الذبذبات التي تلاحقه، أما أن يكون هذا الفرض صحيحًا أو غير صحيح فأمر لا أتعرض له هنا».

وهناك رأيآخر بديل، من المحتمل أن يكون في أساسه شديد القرب منه وإن كان في ظاهره مخالفًا له و هو اعتبار الموجة «موجة احتمال» وأن الأماكن التي تشتد فيها الأمواج تكون هي الأماكن التي يحتمل أن يظهر فيها الإلكترون. وهذا الرأي يمكن إدراكه على أفضل وجه عند النظر إلى الحالة التي تكون فيها حزمة من الإلكترونات محتوية على عدد كبير يتحرك تحت ظروف متشابهة تقريبًا؛ فإذا تجمعت أمواج الإلكترونات المنفردة في موجة واحدة تمثل الحزمة كلها فإن نتائج التجارب يعبر عنها بقولنا إن الإلكترونات تكثر ويشتد تجمعها حيث تشتد الموجة، وتقل وتتوزع حيث تضعف الموجة، فإذا قصرنا النظر على إلكترون واحد بمفرده فإن فرصة ظهوره في مكان معين تتناسب مع شدة الموجة هناك.

ولو تسنى لنا أن نتعامل بالإلكترون بدلًا من الحزمة لكان من المعقول أن نتصور أن القاعدة تظل سارية، أيأنه ستكون أمامه فرصة معينة للظهور في أي مكان تخترقه أمواجه، وأن هذه الفرصة تكون مناسبة للشدة في تلك النقطة، وإدخال فكرة الاحتمال عاملًا في التعبير عن قانون أساسي من الخصائص التي تتفق مع الاتجاه الحديث لعلم الفيزيقيا،الذي يحاول البعد عن الحتمية الصارمة التي اتسم بها المذهب المادي القديم، والسير نحو رأي يقرب بصورة غامضة من مذهب الإرادة الحرة. وقد يعترض على ذلك بأن أي إلكترون يأتي من مكان معين وتؤثر فيه قوى خارجية معينة لا يصل بالضرورة إلى نقطة معينة، والجواب عن هذا أنه من المحال أن نربط أي إلكترون بدقة إلى نقطة محددة تكون هي نقطة البداية. وكل ما يستطاع أن يقال عنه إنه لابد كان في نقطة ما تقع في نطاق صغير في وقت ما. وهذا في الواقع بمثابة تحديد المنطقة التي كانت فيها الأمواج المرتبطة بالإلكترون عند البداية تحديدًا يصح الاطمئنان إلى قربه من الدقة. فلنتصور أن الإلكترون يقوم بدور في تجربة، يخترق فيه مثلًا غشاءً رقيقًا من الفلز، فالأمواج المرتبطة به قد تنتشر،وقد تحمل معها إلكترون، تبعًا للرأي القديم، إلى أي جزء من المنطقة التي تصل إليها، ومن الممكن أن نأخذ بوجهة النظر التي ترى أن الاتجاه المعين الذي يتخذه الإلكترون يتحدد تمامًا بتحديد سرعته ووضعه الأصليين، ولكن بما أن القيم الدقيقة لا يمكن البتة معرفتها فكل ما يمكننا أن نتنبأبه كنتيجة لتجربتنا هذه هو مجرد أمر احتمالي، وربما كان أقرب إلى التواضع ألا نفترض معرفة نظرية لا يمكن في الواقع أن تكون في متناولنا أبدًا، وأن

نسمح بإبراز ما تتسم به التجربة من ضرورة البعد عن التيقن في القوانين الأساسية بالتعبير عنها بصيغة الاحتمال.

وإيثار رأي على رأي أمر مرده السيكولوجية الفردية،فالذين نشأوا في المدرسة القديمة لعلم الفيزيقيا يؤثرون عادة الأخذ بفكرة الحركة المحددة أو المحتومة حتى وإن كان من المتعذر معرفة كل العوامل التي تحددها أو تحتمها، ولكن مما يصح أن يكون موضع التساؤل هو: هل يستمر ذلك صحيحًا إذاقدر للفيزيقيا الذرية أن تصير جزءًا من مجموعة الآراء العامة التي يألفها كل متعلم وأن تنشأ الأجيال التالية على اعتبار أن ما تتضمنه من آراء هي أمور طبيعية مقررة؟

وفي حالة الإلكترون الحر على الأقل يمكننا أن نقطع بإمكان وضع خطة تكون حركته فيها محددة تمامًا وإن كان ذلك يتضمن في حالات معينة الخروج على بعض الأصول المحببة للفيزيقيا القديمة كنظرية بقاء الطاقة. ويبدو أن متاعبنا ناشئة عن أننا قد وصلنا إلى مقياس من الصغر بحيث تصبح فيه الأدوات التي بين أيدينا أخشن من أن تصلح لما نقوم به من فحص. إن الحالة تشبه رجلًا أعمى يحاول أن يفحص عمل الساعة بوضع إصبعه فيها، فهو في محاولته اكتشاف مواضع الأجزاء يفسد حركاتها. وفي علم الفيزيقيا العام نستطيع أن نستعمل وسائل للفحص دقيقة نسبيًا، وأشعة الضوء أعمها عادة، ولكن الضوء كما سبق أن بينا يعمل بتصادم ما فيه من «كمات».

وهذه الكمات ليست إلا قذائف عنيفة، وإذا حاولنا أن نجعلها أقل عنفًا باختيار أشعة يقل ما بها من كمات نجد أننا اخترنا الشعة ذات الأطوال الموجية الطويلة لأن الطول الموجي وطاقة الكمة تتناسبان تناسبًا عكسيًا. ومن الواضح أن الموجة الطويلة ليست مناسبة كوسيلة للتحديد الدقيق لموضع شيء صغير. وهكذا نرى أن ما ربحناه بتخفيف العنف خسرنا مقابله في الدقة.

وتقوم الصعوبة نفسها بصورة أجلى إذا استخدمنا الإلكترونات الأخرى كإصبعنا التي نفحص بها. إذ أنها ستسبب اضطرابًا كبيرًا مناسبًا لما سيطرأ عليها نفسها من اضطرابات. ومن المستحيل أن نحدد وضع أي إلكترون دون أن نحدث به اضطرابات. ومن المستحيل أن نحدد وضع أي إلكترون دون أن نحدق به اضطرابًا يتعذر معه تقدير سرعته التالية، وتحدث مثل هذه النتيجة إذا حاولنا تحديد سرعة الإلكترون، فللوصول إلى ذلك على وجه اليقين يجب أن نسمح له بفضاء واسع يعمل فيه، واتساع الفضاء يجعل تحديد وضع الإلكترون مشكوكًا فيه بما يتناسب مع السعة، فهناك في الواقع تعارض تام بين الدقة التي يحدد بها موضع الإلكترون وسرعته (أو بالأدق كمية تحركه)، فبقدر ما نصل إليه من الدقة في تحقيق أحدهما يكون الشك في تقدير الآخر.

ولقد لعبت هذه العلاقة دورًا هامًافي الفيزيقيا النظرية في السنوات الأخيرة، ومن المحتمل أن تزداد أهميتها بعد، وتعرف بالنسبة لمكتشفها باسم «علاقة الشك لهيزنبرج». وهي قد تمثل حدًا نحن بسبيل الوصول

إليه وهو حد المعرفة التي يمكن إدراكها في الأمور الشديدة الصغر. أما إذا وفق أحد إلى اكتشاف مجس أدق من الإلكترون فإن القضية تنهار حتمًا.

الفصل الثالث عشر

بنية الذرة (3)

النظرية الموجية

كان تطبيق النظرية الموجية على مناسيب الطاقة في الذرة جزءًا مما قرره في الأصل دي برولي، وقد تولاها شرودنجر منذ ذلك الحين بالتعديل والتوسع،

ونظرًا للتميز الأساسي لمناسيب الطاقة في شرح الخصائص الذرية، فإن الاختبار الأول لأية نظرية ذرية تُقترح يجب أن يكون مقدرتها على أن تقدم تفسيرًا معقولًا تلك المناسيب،ففي حالة ذرة الهيدروجين تجتاز النظرية الموجية هذا الاختبار بنجاح، فهذه الذرة التي تتركب من إلكترون واحد وبروتون واحد هي بالضرورة أبسط الذرات.

وقد نتج عن حسابات رياضية بارعة إلى حد ما أن حددت مقادير معينة من طاقة الذرة يمكن أن تؤدي وحدها إلى انتشار دائم للأمواج، والطريقة العامة التي يتسم بها هذا يمكن إدراكها إذا اعتبرنا أن الأمواج تسير حول الفلك، فإذا كان الفلك من الطول بحيث يشمل عددًا صحيحًا من الأمواج الطولية فإن الاضطراب يعود للطور الذي كان عليه، وعندئذ يتسنى وجود حالة استقرار، ولكن هذا كما هو واضح يضع حدًا للأقدار الممكنة للأفلاك، وذلك بتشبيه متواضع، كتوريق

غرفة بورق ذي تشكيلات أو أنماط زخرفية، فالمعتاد أن الورق حين يلصق حول الغرفة ليعود إلى نقطة البداية لا يلتئم مع النمط بالضبط، لكن هناك أقدارًا معينة من الغرف يحدث فيها هذا الالتئام، وهذه الحالات تناظر الحالات الممكنة للذرة.

وزيادة على ذلك يمكن بيان أن تلك الأفلاك هي نفس الأفلاك التي يتبنأ بها على أساس نظرية بور القديمة. أما الحقيقة الواقعة فإن الأمواج تنتشر مبتعدة عن الأفلاك. والتفسير الذي أوردناه يجب أن يعتبر مجرد دلالة عامة على ما هو حادث. على أن الفحص الرياضي الكامل يؤدي إلى نفس النتيجة وهي أن مقادير معينة فحسب من الطاقة تسمح للذرة بالوجود في حالة استقرار، بل الواقع أنه قدوجد أن كل حالة استقرار تناظرها ثلاثة أعداد كاملة تعين طبيعة النظام الموجي. ففي حالة الهيدروجين يكون انتشار الأمواج على وجه يجعل سطوحًا معينةفي حالة سكون وتسمى السطوح العقدية، قسمتها النواة أو سطوحها تمر بالنواة. والأعداد الثلاثة تعين عدد السطوح العقدية لكل من الأنواع الثلاثة، ومتى عرفت هذه عرف كذلك شكل النظام الموجي.

وهذه الأعداد هي الأرقام التي أوردناها فيآخر الفصل السابق باسم أرقام الكمة باستثناء واحد هو أنه ليس منها سوى ثلاثة أما الرابع فيظهر على صورة مختلفة سنتحدث عنها فيما بعد. وعبارة «رقم الكمة » وهي مما ورثناه عن نظرية الفلك يمكن تبريرها إلى الحد الآتي: وهو أن

السطوح العقدية التي تشير إليها تتعين بأمواج يتناسب طولها مع **h** وهو الثابت الأساسي للكمة.

ولايقتصر الأمر على أن العمليات الحسابية تعطينا المقادير الصحيحة للطاقة التي تنشأ عنها حالات الاستقرار للهيدروجين في الظروف العادية،بل يمكن أن تمتد هذه العمليات الحسابية إلى الحالة التي تكون فيها الذرة واقعة تحت تأثير قوى كهربائية أو مغناطيسية، ففي هذه الحالات تظهر بجلاء مناسيب طاقة مناظرة لأرقام كمية مختلفة كانت لها من قبل نفس الطاقة. ولسوء الحظ تزداد الصعوبات الرياضية بالنسبة لمعظم الذرات الأخرى بدرجة لا تسمح بالحل الكامل. ولكن يتضح من الطبيعة العامة للعمليات أن النتائج ستكون مماثلة، أو أنه ستكون هناك مناسيب طاقة معينة تحدد بأرقام صحيحة للكمة. وتدل هذه الفحوص على أن الأمواج حتى في حالة الاستقرار نفسها ليست مقصورة على أفلاك خطية، فهيتمتد خلال منطقة الذرة بأجمعها وتنتشر بالفعل خراجها إلى الفضاء بغير حدود دقيقة التعيين وإن تكن شدتها تقل إذا ازدادت أبعادها عن النواة عما يعتبر عادة نصف قطر الذرة. على أن هناك في العادة ميلًا معينًا لأن تكون شدة الأمواج أكبر ما يمكن بالقرب من الأفلاك القديمة.

وقد استطاع شرودنجر الوصول إلى هذه النتائج من غير حاجة إلى أن يفكر في نوع الدلالة الفيزيقية التي يمكن أن تقترن بشدة الموجة، وكل ما استطاع افتراضه هو أن المقدار الرياضي¥ (ابصاي) الذي يمثل

الموجة، إنما هو شيء له قيمة واحدة فحسب عند أي موضع محدد، وقد رأينا مع هذاأحد الطرق للبحث في الأمواج عن إلكترون طليق، هو أن نعتبر شدهًا مقياسًا لاحتمال وجود إلكترون أو مقياسًا للتقارب أو التكاثف الذي تتجمع به الإلكترونات في الحالة التي يوجد فيها إلكترونات كثيرة. وهذا التفسير له في الواقع أساسه في النظرية الذرية لشردونجر، وقد نشأ عن محاولة لحساب سلوك الذرة عندما تؤثر فيها موجة ضوئية. والذي يحدث فعلًا هو أن الذرة تشتت بعض الضوء بشدة تتوقف على العلاقة بين تردد الضوء وتردد الخطوط الطيفية الخاصة بالذرة، فإذا كان الترددان متساويين على وجه التقريب تشتت من الضوء نسبة كبيرة كبرًا غير عادي. وقد كان من أشد متاعب النظرية الفلكية أنها لم تبين فيالواقع هذه العلاقة بطريقة صحيحة.

وقد رأى شرودنجر أنها تنتج تواليًا عن نظريته إذا اعتبرت الإلكترونات كأنها انتشار متصل من الشحنة الكهربائية بكثافة تتناسب مع شدة الأمواج أى تتناسب مع ¥^{2}. وهذا الرأي مناقض بشكل يثير الدهشة للآراء المعروفة لأنه إلى اليوم كان الاتجاه يميل إلى اعتبار الإلكترون في أساسه شحنة كهربائية مفردة متقطعة، وربما كانت الصعوبة الحقيقة أكثر منها ظاهرية. ذلك لأننا إذا بنينا حسابنا على متوسط فترة طويلة طولًا كافيًا فلن يكون ثمة فرق من حيث كثير من الأغراض بين ما إذا كنا نتناول شحنة متصلة الانتشار متفاوتة الكثافة دائمة الاستقرار أو عددًا من الشحنات المتقطعة الهائمة في الفضاء بحيث يكون احتمال وجودها فيأي مكان متناسبًا مع الكثافة طبقًا للافتراض

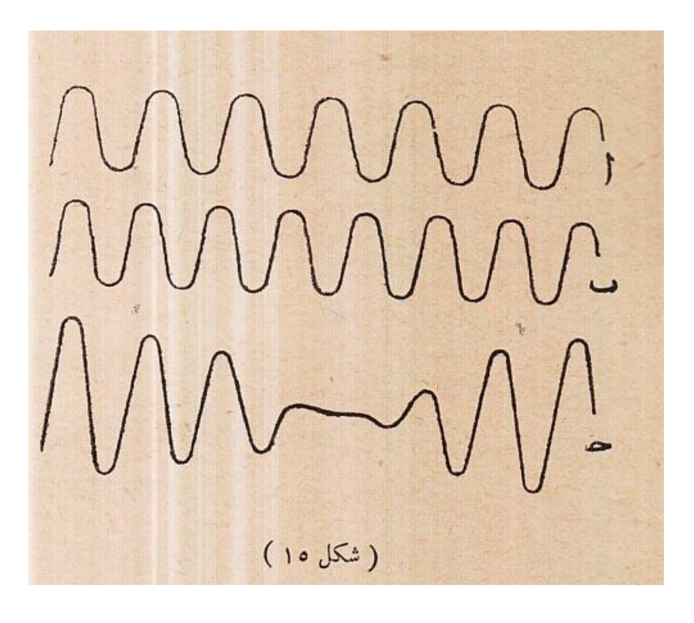
الآخر، فكلا الوجهين سيجعل في النهاية متوسط مقدار الكهرباء في أية منطقة صغيرة واحدًا.

وكذلك تقدم لنا ذرة شرودنجر على الأقل إشارة نفسر بها قانون تردد الإشعاع المنبعث، وهو أن التردد عبارة عن فرق بين منسوبي الطاقة مقسومًا على **h**، ففي حالة الاستقرار تتحول الموجة إلىاهتزازات آنية في كل أجزاء الذرة، وهي بهذا تشبه أي نظام اهتزازي كوتر للكمان. ويدل القانون الأساسي للميكانيكا الموجية على أن التردد يجب أن يساوي الطاقة مقسومة على **h**.

ويصدق هذا أيضًا على الذرة في حالة استقرار أخرى؛ فلنفرض وجود موجة تناظر تراكب وضعين من أوضاع حالات الاستقرار أحدهما فوق الآخر فلن تكون النتيجة حالة استقرار بل تكون اهتزازًا يزداد اتساعه وينقص بتردد يعادل الفرق بين ترددي حالتي الاستقرار. وهذه الظاهرة تضارع الضربات في الصوت، فهذه الضربات تحدث عندما تصدر فيآن واحد نغمتان قريبتان في التردد وإن تكونا غير متساويتين تمامًا، وتنشآن عن تتابع ارتفاع وهبوط بطريقة في شدة اهتزاز الهواء بسبب تراكب الأوضاع لمجموعتين من أمواج الصوت تلغي إحداهما الأخرى أو تضعفها حينًا وتقويها حينًاآخر.

وبهذا تكون نتيجة تراكب وضعي الموجتين ا، ب اللتين تختلفان اختلافًا طفيفًافي الطول الموجي هو تكون الموجة المركبي حــ التي يمكن اعتبارها موجة يتغير اتساعها تغيرًا بطيئًا. ولما كانت الحالات المستقرة

هيحالات دائمة فإنها لا تشع طاقة ولكن لنا أن نتصور أن الإشعاع يحدث عندما تتكون هذه الضربات، وإذا كان تردد الإشعاع هو تردد الضربات فإنه يكون معادلًا لفرق ما بين الطاقتين مقسومًا على **h** وهو ماتدل عليه التجارب.



(شكل **15**)

وهذا الجانب من النظرية لا يزال تحت البحث، إذ أنه لا يزال هناك عدد من النقط الغامضة لم تفسر تفسيرًا كاملًا بعد، ولكنها هي المحاولة الوحيدة التي أمكن أن تصل إلى شيء من النجاح من حيث هي تفسير لقانون الإشعاع وهي بهذا جديرة بالذكر. أما كيف تحصل مثل هذه الموجة على جسيمها الكمي فليس لدينا ما نقوله عنه فقد يكون

مجرد وجود الموجة يقتضي بالضرورة وجود جسيم ذي طاقة مناسبة كما أن وجود الجسيم يقتضي بداهة وجود موجة.

وفي حالة الذرات المركبة يمكن تعيين الأمواج بعملية رياضية لا يمكن توضيحها إلا هندسيًا بدلالة فضاء متعدد الأبعاد. ومعنى هذا أن الأمواج ليس لها معنى طبيعي، وهذه أقوى حجة تؤيد وجهة النظرالتي تعتبرها أمواج حالة أو أمواج احتمال لا أمواج حركة. ولكن على الرغم من أن الأمواج نفسها تفنى في صورة خيالات متعددة الأبعاد، فإن الاحتمال الممكن استخلاصه منها رياضيًا يبقى حقيقة جدية في الفضاء ذي الأبعاد الثلاثة.

وإذا اعتبرنا الحالات المستقرة المختلفة لذرة الهيدروجين صورًا مختلفة للاهتزازات، كالاهتزازات الأساسية والتوافقية لوتر الكمان، فإن من الممكن في حالة الذرة المعقدة أن نتخيل عددًا متراكبًا من هذه الصور من الاهتزازات لكل إلكترون واحد وينشأ عن هذا التراكب شيء من التحوير أو التعديل التبادلي أو المتبادل، وهو ما نعبر عنه في الميكانيكا الجدية بما كنا نصفه من قبل بأنه القوى التي بين الإلكترونات.

وأهم من ذلك أننا نفترض أن قاعدة باولي تظل صحيحة بحيث لا يمكن أن يكون لإلكترونين نفس أرقام الكمة. لكن أرقام الكمة حسب النظرية الموجية هي أعداد صحيحة تعين نوع الاهتزاز المناظر لترتيب النغمة المتوافقة في التشبيه الموسيقي، وبهذا يكون معنى قاعدة باولي أنه لا يمكن أن يكون لإلكترونين نفس النوع من الاهتزاز. ويؤدي بنا تطبيق

هذه القاعدة إلى نقطة عجيبة، فالتعيين الكامل لنوع الاهتزاز يتضمن ثلاثة أعداد صحيحة فقط، ولكننا في حالة الأطياف وجدنا أننا بحاجة إلى أربعة. وقد قامت نفس الصعوبة في حالة نظرية الفلك أيضًا فيما بعد.

وقد أمكن التغلب على ذلك بتصور أن الإلكترون أكثر تعقدًا من أن يكون مجرد شحنة في نقطة، وأنه درار[1]. ودرور الجسم المشحون يكسبه خصائص مغناطيسية، وبهذا صار الفرض الحديث يعتبر الإلكترون وحدة شحنة كهربائية ووحدة مغناطيسية فيآن واحد. ولما كان الرقم الرابع للكمة قد تبين أن له قيمتين محتملين اثنتين فقط، فيمكن تعليل الحقائق بافتراض أن محور الدرور في الإلكترون يكون دائمًا عموديًا على فلكه وإن يكن اتجاه الدرور يصح أن يتفق مع اتجاه الحركة في الفلك أو يختلف معه.

وليس في النظرية الموجية ما يناظر هذا بجلاء، ويتطلب التوسع الضروري لذلك حسابًا رياضيًا مجردًا عاليًا لا يمكن أن يعبر عنه هنا تعبيرًا لفظيًا. وقد كان ديراك ردارون في طليعة الباحثين في هذه النقطة ولكن لا تزال تواجه صعوبات خطيرة. وقل أن تصاغ نظرية جديدة لأول مرة أبسط صياغة، ولكن لنا أن نأمل إمكان التعبير عنها بصورة أبسط فيما بعد. ونستطيع فيما نهدف إليه من أغراض أن نتجاهل ما أوردناه من تعقيد إلا فيما يتعلق بحقيقة هامة وهي أنه من الممكن أن يكون هناك إلكترونان لكل نوع من الاهتزاز بدلًا من إلكترون واحد.

---

[1] من در المغزل إدرارة شديدة، فدر درورًا فهو درار.

والأرقام الثلاثة الباقية لكمة وهيالتي تحدد نوع الذبذبة أو نوع الفلك طبقًا لوجهة النظر السابقة ليست متكافئة، فأحدها ويسمى الرقم الأصلي للكمة ويرمز له عادة بحرف ن هو أهمها. ففي حالة ذرة الهيدروجين التي لا تقع تحت أى مؤثر خارجي يكون هذا الرقم وحده الذي يعين الطاقة، أما الرقم الثاني للكمة، ويرمز له بحرف ل، فتضبطه قاعدة هي أن ل أى عدد صحيح أصغر من ن، ويمكن أن يكون صفرًا، فإذا كانت ن هي **3** جاز أن يكون ل صفرًا أو **1** أو **2**. والإلكترونات التي تتخذ زوجًا معينًا من القيم لكل من ن و ل مثل **3** و **2** تتميز فيما بينها بقيمة الرقم الثالث ويرمز له عادة بالرمز مل. و القاعدة هنا أنمل يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا أو صفرًا لا يزيد على ل. فإذا كانت ل = **2** فالقيم الممكنة للرقم ملهي –**2** ،–**1** ، صفر ، **1** ، **2** . ويتبين من حساب بسيط أن العدد الكلي للتجمعات الممكنة من هذه الأرقام الثانوية هو ن^{2} . فمثلًا إذا كانت ن = **3** فإنها تبين كالآتى :

ل = صفرًا	**1**	**2**
مل= صفرًا	–**1**، صفر، **1**	–**2** ،–**1**،صفر،**1**،**2**

ومجموع الحالات المبينة في السطر الأخير من القائمة هي **9**، ولما كانت ن = **3** فإن القاعدة تصدق. وإذا أدخلنا الدرور في حسابنا يتضاعف عدد هذه الحالات الممكنة. ويصير المجموع الكلي **18** إلكترونا الرقم الأصلى الأصليللكمة فيها **3**.

وعندما يتحتم على عدد من الإلكترونات أن ترتب نفسها حول نواة لتكون ذرة فالقاعدة العامة أن هذه الإلكترونات تحاول أن تشغل أولًا الحالات التي يكون الرقم الأصلي للكمة فيها صغيرًا. فمثلًا في الهيليوم وله إلكترونان فحسب يأخذان الحالتين الممكنتين المناظرتين لرقم أصلي للكمة مقداره 1، والذرات الثمانية التالية في السلسة والتي يتراوح عدد إلكتروناتها بين 3، 10 تشغل الحالات الثمانية الممكنة المناظرة لرقم أصلي للكمة مقداره 2، والملاحظ أن تكون مجموعة كاملة مناظرة لاستنفاد الإمكانيات المنطوية تحت رقم أصلي للكمة ينشأ عنه ترتيب مستقر على وجه يسترعى النظر. فمثلا العنصر الثاني وهو الهيليوم والعنصر العاشر وهو النيون كلاهما غازان خامدان لا يبديان أية قابلية للتفاعل الكيماوي، ويصعب تأينهما بإزالة إلكترون. ومثل ذلك يحدث في كثير من الحالات عندما تستنفد الاحتمالات المناظرة لمقادير الرقم الثاني للكمة. ففي الذرات التي تلي النيون عندما تدخل الإلكترونات الإضافية في بناء المجموعة التي يكون فيها ن=3 نصل إلى حالة استقرار شديد إذا ما استنفدت الحالات الممكنة المرتبطة بالقيم ل=صفرا أو 1. ويدل الجدول على أن هذا يتضمن أربع احتمالات وبإدخال الدرور في الحساب ينتج 8 إلكترونات، أي أن الذرة التي تزيد 8 إلكترونات على النيون تكون كذلك غازًا خامدًا و هو الأرجون. ويحدث بعد ذلك استثناء لأن إضافة الإلكترون تنتج حالة يكون فيها الرقم الأصلي للكمة 4 مع أن المجموعة التي بها ن = 3 ، ل = 2 لم تشغل بعد. وليس باستطاعتنا حتى الآن إيجاد تفسير نظري دقيق لذلك

وإن يكن من المعروف وجود اعتبارات كثيرة قد تجيزه للعقل. وتحدث تعقيدات مماثلة كلما تقدمنا في المراحل التالية في جدول العناصر.

وهكذا يؤدي بنا الحال إلى وجهة النظر التالية عن بنية الذرات الأكثر تعقيدًا، فكلما توغلنا في سلسلة العناصر مبتدئين بالهيدروجين فإن الشحنة الواقعة على النواة تزداد بمقدار وحدة واحدة لكل عنصر تالٍ نصله، أي أن كل عنصر تالٍ له إلكترون رائد التصرف فيه، ويكون التصرف عادة بشغل الاحتمالات التي يكون فيها الرقم الأساسي للكمة أولًا 1 ثم 2 و هكذا، واستثناء من ذلك في بعض المراحل بدلًا من أن تشغل آخر المجموعات الفرعية المناظرة لأكبر مقدار لقيمة ل يتفق مع الرقم الأساسي للكمة فإنها تقفز إلى المجموعات الفرعية السابقة ذات أكبر قيمة تالية للرقم ن. وعندما يحدث هذا يجب أن تشغل الأرقام التي لم تستعمل في مرحلة تالية أي بين عناصر ذات أرقام ذرية أكبر. وهذه الفكرة التي كان بور أول من قدمها على أساس نظرية الفلك القديمة قد نجحت بصورة بينة في تفسير الخصائص الكيماوية والطيفية لمختلف العناصر، وهي الأساس الطبيعيالذي قام عليه الجدول الدوريالذي نوقش في الفصل الثالث.

أما ما تتميز به النظرية الموجية عند مقارنتها بنظرية الأفلاك، فهو أن الأمواج توجد خلال منطقة بأسرها وهي منطقة يمكن اعتبارها بالتقريب ممتدة امتداد حجم الذرة أو قدرها الذييحدده تراصها في البلورات، وليست محددة بمسيرات معينة كما كان يقول الرأي القديم.

وبما أن موجات الإلكترونات المختلفة، بقدر ما يمكن تمييزها، تتراكب بحيث تقع موجة فوق أخرى، فلنا أن نتصور أن الإلكترونات قد فقدت ذاتيتها وامتزجت في خليط ما من الكتلة، ولكن هذا الرأي قد يكون خاطئًا لأن نفس المعادلات التي تؤدي إلى هذا الانتشار الظاهري تشمل حدودًا لا تفهم إلا على اعتبار أنها تمثل قوى بين شحنات فردية كل منها في نقطة، وقد يكون أهم من ذلك أن مبدأ العزلة الذي تقوم عليه الفكرة كلها هو في قراره وروحه تقرير للفردية الجامدة للإلكترونات ولاستحالة اندماجها بعضها في بعض.

وهناك خاصة فردية للفكرة بأجمعها (ويصدق هذا على نظرية الفلك والنظرية الموجية على حد السواء) تتبين عند النظر في الانتقالات بين الحالات المستقرة، فمثلًا إذا أبعد إلكترون من داخل ذرة فإنها تصبح في حالة ازدياد في الطاقة، وطبقًا للنظرية الفلكية يأتي إلكترون آخر من الطبقات أو القشور الخارجية ليحل محله، ويشع فائض الطاقة في كمة تعطي أحد الخطوط المميزة للأشعة السينية التي قام موزلي بدراستها. وعلى أساس النظرية الموجية يحدث تعديل في ترتيب الذبذبات فينشأ عنه أثر معادل. وهناك بالإجمال عدة طرق يمكن أن يحدث بها هذا إذ أن هناك عادة إلكترونات بها كثير من مناسيب الطاقة المختلفة تستطيع أن تحل محل إلكترون المبعد.

وهنا يصبح التساؤل عما يحدد التغيير الذي يحدث فعلًا في الذرة وتبعًا لذلك ما الذي يحدد التردد الخاص الذي تختار الذرة أن تبعث به؟

ولما كانت أية تجربة فعلية لا بد أن تقتضي استخدام عدد كبير من الذرات فيآن واحد، فعندها يتبين أن خطوط الأطياف المختلفة الممكنة تنبعث بدرجات مختلفة من الشدة. ومن الممكن إدراك أن كل ذرة مفردة تبعث كل الخطوط بدرجات متفاوتة من الشدة، ولكن مثل هذا الرأي يبدو من الصعوبة بمكان إن لم يكن من المستحيل التوفيق بينه وبين طبيعة الوحدات لكمات الطاقة في مختلف أنواع الإشعاع، فمثلًا إذا كان أحد الخطوط يعادل في شدته ثلثي شدة خط آخر فهل يسمح له بأن يبعث بثلثي كمة؟ ويشعر مؤلف الكتاب شخصيًا أنه مما قد يكون أكثر اتفاقًا مع فكرة الذرية بوجه عام – وهي الفكرة التي تتبعنا تقدمها وما أحرزته من انتصارات باهرة في هذه الصفحات – أن نفترض أن كل ذرة في مثل هذه الحالة تبعث الكمة الواحدة فحسب فإذا سئلنا عما يبين التردد الذي تختاره الذرة فخير ما نجيب به الإقرار بالجهل التام أو ما يعادل ذلك تقريبًا و هو القول بأنها مسألة احتمال. وهناك ميل للاعتقاد بأن هذا الجهل يمثل قصورًا دائمًا في المعرفة أو وقوفها عند حد دائم. ولكن هذه النظريات لا تزال حديثة نسبيًا ويبدو من التسرع الأحمق أن نؤكد بصورة قاطعة أنه سيظل من المستحيل ابتكار تجربة تساعدنا على التنبؤ بأي من حالات الاحتمال المتعددة ستختاره الذرة.

الفصل الرابع عشر

الإلكترونات والكيمياء

لقد رأينا فيما مر أن النظرية الإلكترونية للذرة تقدم تفسيرًا وصفيًا على الأقل للحقائق الأصلية للكيمياء. والفكرة العامة التي ساهم في تطويرها طائفة من الكتاب هي أن هناك ذرات معينة على استعداد لفقد إلكتروناتها في يسر في حين أن ذرات أخرى شديدة الرغبة في ضم إلكترونات إليها .

وإذا قارنا بين ذرات من هذين النوعين المختلفين كان لنا أن نتوقع انتقال إلكترونات بينها. ونتيجة لهذا سيكون لبعض الذرات على وجه العموم شحنة موجبة وللبعض شحنة سالبة، وهذه الأجسام المتضادة الشحنة ستتجاذب طبقًا لقانون الكهرباء العادي. والقول بأن ذرات جزىء كيماوي يمكن انقسامها إلى مجموعتين لكل منهما على وجه ما خواص متضادة فكرة عريقة القدم في الكيمياء وهيفي الواقع سابقة لاكتشاف الإلكترون سبقًا بعيدًا.

والطائفة الكبيرة من المركبات الكيماوية المعروفة بالأملاح والتي يعتبر ملح الطعام مثلًا نموذجيًا لها تعطينا شاهدًا قويًا على ذلك، فهي تتألف أساسًا من جزيء فلزي وجزىء غير فلزي ويمكن أن ينظر إليها

على أنها نتيجة اتحاد بين حامض، وهو مركب متكون بأجمعه من عناصر غير فلزية، وقاعدة وهي أكسيد فلزي تحور باتحاده مع الماء وعندما يتكون الملح يستبعد الماء ويأخذ معه الأكسجين من الأكسيد الفلزي ويدع الفلز متحدًا مع فضلة الحامض ويسمى الأساس الحمضي. والتكوين الثنائي لهذه المركبات يمكن إيضاحه جيدًا بتفاعلها حين تذوب في الماء فكلها موصلة قليلًا أو كثيرًا وفي التحليل الكهربائي ينتقل الفلز إلى القطب السالب دالًا بذلك على أنه موجب الشحنة بينما ينتقل الأساس الحمضي إلى الجهة الأخرى فهو بذلك سالب الشحنة. فالفلزات إذن توصف بأنها عناصر موجبة الكهربائية، والعناصر التي تكون الأحماض توصف بأنها سالبة الكهربائية، ويوضح هذا الوصف كذلك بطرق أخرى. فمثلًا للذرات الفلزية في أغلب الأحوال جهد تأيني صغير نسبيًا مما يدل على أنها يمكن أن تسلب إلكترونًا من إلكتروناتها بغير صعوبة كبيرة،في حين أن ذرات العناصر السالبة الكهربائية متى فصلت في صورة غازية تبدي ميلًا لاكتساب إلكترونات علاوة عما بها وتظهر على صورة أيونات غازية ذات شحنة سالبة.

وبمجرد أن ازدادت معلوماتنا عن ترتيب الإلكترونات في الذرة أمكن التوفيق بين الآراء المستحدثة الخاصة ببنية الذرة وبين نظرية التكافؤ الكيماوية. والفكرة الأساسية هي أن الاتحاد الكيماوي هو نتيجة لفعل الإلكترونات الأقل استمساكًا بالذرة والتي تتصور على أنها مكونة للطبقة الخارجية لها. وطبقًا للنظرية التي أوردناها بالفصل السابق تشمل ذرة أحد الغازات الخامدة في طبقتها الخارجية مجموعة متكاملة أصلية أو

فرعية. والذرة التالية في الجدول الدوري للعناصر تكون على الدوام من بين ما يسمى المجموعة القلوية كالصوديوم مثلًا الذي يتيمز بكونه شديد الإيجابية الكهربائية ولكنه ذو تكافؤ فردي فحسب. والتفسير الطبيعي هو أن الإلكترون الذي يكون في هذه الذرة علاوة على ما كان بالغاز الخامد السابق تمسك به الذرة في ضعف وتراخٍ وعلى نقيض ذلك تكون الذرة السابقة مباشرة للغاز الخامد شديدة السلبية الكهربائية وإن كانت كذلك ذات تكافؤ فردي.

وبناءً على ذلك نفترض أن ذرة من هذا القبيل كالكلور مثلًا حريصة على أن تضم إليها إلكترونًا إضافيًا لتكمل به مجموعتها، فاتحاد ذرة من الصوديوم بذرة من الكلور لتكوينجزيء من ملح الطعام يصور على أنالصوديوم يفقد إلكترونًا ليتم قشرة ذرة الكلور، وبهذا يصبح كل منهما وقد اكتملت قشرته، بفارق واحد هو أنه في حالة الصوديوم قد نقصت الإلكترونات الواقعة خارج النواة إلكترونًا عن الشحنة النووية في حين أنها زادت واحدًا في حالة الكلور. وتبعًا لذلك يكون هناك حالة تجاذب إلكتروستاتيكي بين الاثنين يمسك بالجزيء.

وهذه الفكرة قابلة للتوكيد أكثر من ذلك، فالذرة التالية للصوديوم موجبة الكهربائية ثنائية التكافؤ والتي تليها ثلاثيته. فالأولى مثلًا وهو المغنسيوم يتحد بذرتين من الكلور والآخر وهو الألمونيوم بثلاث. والتفسير الطبيعي أن المغنسيوم له إلكترونان يمكن الاستغناء عنهما خارج مجموعته الكاملة. وبذلك يستطيع أن يكمل مجموعتي ذرتين

من الكلور في حين يستطيع الألمونيوم الإمساك بثلاث. وهذا الرأي يتفق مع ما قد يبدو لأول وهلة على أنه حقيقة عجيبة وهي أنه وإن كان الصوديوم لا يستطيع الاتحاد إلا بذرة واحدة من الكلور فإنه يفعل ذلك بشدة أقوى من الشدة التي يتحد بها الألمونيوم مع ثلاثته. ويمكن أن يتصور أن إلكترونات الألمونيوم الثلاثة كانت تعمل على تكوين مجموعة جديدة بذاتها وأنها قد تستطيع بقليل من التشجيع أن تجتذب إليها إلكترونات إضافية لتكملتها. والواقع أن الألمونيوم في بعض المركبات يظهر بعض علامات سلوك شبيه بالفلز أي سالب الكهربائية. وكذلك الحال عندما نقترب من طرف الجدول الدوري أي من العناصر السالبة الكهربائية فإننا نلاحظ مثل هذه التأثيرات فالأكسجين مثلًا وهو يقع قبل غاز خامد بموضعين يمكن أن يتحد مع ذرتين من الصوديوم أو ذرة من المغنسيوم في حين أن ذرتين من الألمونيوم تتحدان بثلاث من الأكسجين. وفي كل حالة تكون الإلكترونات الزائدة في الفلزات كافية فقط لملء الفجوات في الذرات السالبة الكهربائية.

وفي الصفين الأولين للجدول الدوري تتوالى الغازات الخامدة بحيث يفصل كل منها عن سابقه بثمانية مواضع فتكون القاعدة معادلة لقولنا إن الإلكترونات الخارجية للذرات في مركب ما يصل عددها إلى ثمانية أو مضاعف ثمانية.ولما كنا نجد الانتظام المشار إليه واضحًا أقوى وضوح في الصفين الأولين فإن رقم 8 أصبح له شأن خطير في النظرية الكيماوية.

وعلى أساس ما سبق توضيحه في الفصل السابق يمثل هذا الرقم عدد الإلكترونات اللازمة لإتمام المجموعات الفرعية التي يكون فيها ل = 1،0، فبالنسبة للصف الأول يدل ذلك على إتمام المجموعة الكاملة المناظرة للرقم الكمي الأساسي 2 . أما بالنسبة للعناصر بعد هذين الصفين فإن الأمور تصبح أكثر تعقيدًا إذ يتعين في بعض المواضع بالجدول ملء بعض المجموعات الفرعية التي كانت قد تخطيت لتفسح المجال لما يليها في الرقم الكمي الأساسي، كما لو كان هذا الملء يحدث تحت السطح. وقد يترتب على ذلك أن ذرات عديدة تتابع ولها نفس الإلكترونات الخارجية وتكون تبعًا لذلك متشابهة تمامًا في الخصائص الكيماوية.

ومما هو جدير بالذكر أن وجهة النظر هذه في الاتحاد الكيماوي تتفق تمام الاتفاق مع نظرية التكافؤ الموضحة في الفصل الثالث. فالرباط يبدو على صورة انتقال إلكترون أما ذيول الخيط لتى مثلناها بها فتبدو كأنها إلكترون غير مرغوب فيه أو مكان شاغر ليحل به إلكترون إضافي. وهذا النوع من المركبات قد يتخيل على صورة أفضل باعتباره عددًا من الأشواك البارزة في بعض الذرات تبيت في ثقوب في ذرات البعض الآخر، ويكون الغاز الخامد بذلك نوعًا من المركب المشبع، وبذلك يتضح تمامًا تفسير عدم وجود فاعلية كيماوية لهذه العناصر. وعندما يذاب جزيء من هذا النوع في الماء تبقى الإلكترونات مع الذرات التي انتقلت إليها، ولكن التجاذب الإلكتروستاتيكي يغلب على أمره فتسبح الذرات متباعدة على صورة أيونات مشحونة. ولما كان وجود الماء بين

شحنتين من الكهرباء ينقص التجاذب بينها $\frac{1}{80}$ من قيمته الأصلية فليس في هذه النتيجة ما يدعو للغرابة، ونستطيع أن نرى لماذا كان محلول الأملاح في الماء موصلًا جيدًا بينما تكون نفس الأملاح في بعض سوائل أخرى عازلة.

ومركبات هذه الطائفة تسمى أحيانًا متغايرة القطبية فيختلف أي جزء منها عن الأخر اختلاف السالب عن الموجب، ولكن هناك مركبات أخرى لا تتماشى مع هذه الفكرة كما هي. فمثلًا يمكن أن تتحد ذرتان من الكلور لتكون جزيئًا، وكذلك يمكن أن تتحد ذرتان من الأكسجين،فهنا تكون كلتا ذرتي المركب ناقصة ولا تستطيع أيتهما أن تمد الأخرى بحاجتها من الإلكترونات.وللتغلب على هذه الصعوبة أمكن تصور أنه في بعض الحالات تتقاسم الإلكترونات ذرتان بحيث يمكن احتسابها مع مجموعات كل منهما. فمثلًا إن تقاسمت ذرتا الكلور إلكترونين فإن الأربعة عشر إلكترونًا الموجودة يمكن أن تحمل على القيام بعمل 16 وتكوين مجموعتين كل منهما 08 وكذلك الحال في الأكسجين إذا تقاسمت ذرتان 4 إلكترونات فإن الاثنى عشر إلكترونًا تصبح معادلة 16. وفي مثل هذه المركبات تكون الذرتان على قدم المساواة وتسمى المركبات متجانسة القطبية. ومن الناحية العددية تتكون أعظم طائفة من المركبات من ذرات الكربون لأنها تشمل مئات الألوف من المركبات العضوية المعروفة، وكثير منها شديدة التعقد.

وهنا في هذه الطائفة يتجلى أعظم نجاح لنظرية التكافؤ، فإذا بدأنا من الأساس وهو أن للكربون 4 من وحدات التكافؤ أمكن أن نبني صيغ التركيب، كما يطلق عليها، بحيث تبين الطريقة التي تترابط بها الذرات. والصور المكونة للجزيئات على هذا الوجه أكبر عون لنا في التنبؤ بالخصائص الكيماوية، فمثلًا وجد أن الذرات المتقاربة في الجزىء تكون أكثر احتمالًا للتفاعل معًا مع عامل مؤثر خارجي من الذرات الشديدة التباعد. وحتى الأشكال التي استنتجت للجزيئات أمكن تأييدها بدراسة البلورات العضوية عن طريق الأشعة السينية. وقد يكون لسلطان نظرية التكافؤ على مركبات الكربون وأنواعها صلة بوقوع الكربون عنصرًا وسطًا بين غازين خامدين، وبهذا يتسنى لها أن تتمم مجموعتها إما بفقد 4 إلكترونات أو بكسب 4.

وفي كثير من الحالات يكون ترتيب ذرات الكربون على صورة سلاسل قد تصل كل سلسة إلى 20 عضوًا أو أكثر، وفي هذه السلاسل تترابط ذرات الكربون فيما يبدو على صورة متجانسة القطبية. وأيًا كانت طبيعة الرباط فظاهر أن الذرتين المرتبطتين تتقاسمانه على السواء. وهذا الرباط يعتبر تقاسمًا لزوج الإلكترونات، ويحدث أحيانًا نوع خاص من الرباط يمكن اعتباره تقاسمًا لأربعة إلكترونات، ويقال لهذا في الكيمياء الرباط المزدوج، وهو يتضمن طبقًا لصورة التكافؤ ربط زوجين من الذيول معًا.

ومع أن الطاقة اللازمة لفصم عرى رباط مفرد، فإن الرباط المزدوج رغم هذا يكون نقطة ضعف في السلسة من وجهة النظر الكيماوية، فطاقته ليست ضعف طاقة الرباط للفرد، ومن ثم يكون أسهل على الذرة الأجنبية أن تجد سبيلًا للاتصال.

والأربطة الثلاثية معروفة كذلك والمفروض أنها 6 إلكترونات، أما السلاسل الطويلة فهي تتكون دائمًا من الأربطة المفردة القوية، وقد يوجد من آن لآخر رباط ثنائي أو ثلاثي. ولاستكمال العدد الضروري من الإلكترونات تحتاج كل ذرة في سلسلة إلى إلكترونين إضافيين من الخارج، وهذان تقدمهما ذرات أخرى تعلق بالسلسة عند جانبها تكون غالبًا ذرات هيدروجين. وهذا هو الحال بالنسبة لمجموعة المركبات التي تؤلف الزيت المعدني والتي تعرف بالبرافنات. وعدا هذه الروابط المتجانسة القطبية تحتوي المركبات العضوية أحيانًا على ذرات مرتبطة برباط متغاير القطبية وهذه يصيبها التحلل، فمثلًا حامض الخليك (الخل) يمكن أن يتحد بالفلزات فيكون أملاحًا شديدة الشبه بأملاح الأحماض غير العضوية.

وهناك نوع من الروابط غريب وعظيم الأهمية يقال له فنيًا حلقة البنزين وهو بنية ذات 6 ذرات من الكربون وهي تكون جزءًا أساسيًا من جزيئات صبغات قطران الفحم وكثير غيره من المواد العضوية ذات الأهمية الفنية.

ولطالما بذلت الجهود في مناقشات حول الطريقة الدقيقة التي يتم بها ترابط هذه الذرات الست. ومن المحقق أنها تكونعلى نحو ما حلقة مقفلة. ومن المرجح كثيرًا أن كل ذرات الحلقة متساوية التكافؤ، والمعتقد الآن أن أربطة مزدوجة ومفردة تتبادل حول الشكل السداسي لذرات الكربون، ولكن بدلًا من أن تكون هذه الأربطة ثابتة بحيث يكون لذرة معينة رباط مفرد عن يسارها ورباط مزدوج عن يمينها مثلًا، يتم التبادل بسرعة عظيمة بين هذا الوضع وعكسه الذي يكون فيه الرباط المزدوج عن اليسار والرباط المفرد عن اليمين.ومن الصعب أن نفسر فكرة مشاطرة الذرتين لإلكترون واحد طبقًا لنظرية الفلك، والنظريات التي أوردناها قامت ونمت مستقلة تمامًا عن تلك النظرية بل كانت في الواقع تنافسها. ولكن هذه النظريات مع ذلك عجزت تمامًا عن تفسير تكون الأطياف، ولم تلق ترحيبًا كثيرًا من أكثر علماء الفيزيقيا الرياضيين.

وقيام النظرية الموجية يدعو للأمل في إمكان استنتاج بنية للذرة يطمئن لها كل من علماء الفيزيقيا وعلماء الكيمياء على السواء. وفي السنوات القلائل الأخيرة دل عمل هايتلر ولندن على أمل كبير في تكيف النظرية الموجية لبنية الذرة وفقًا لمطالب الكيمياء أو تفسير ظواهرها. ومن سوء الحظ أن العمليات الرياضية المتبعة شديدةالصعوبة والتجريد بحيث لا يسهل التعبير عن الآراء المنطوية تحتها. وهذه العمليات خاصة بنوع التفاعلات المتجانسة القطبية، أما نظرية التفاعلات المتغايرة القطبية فلا تختلف كثيرًا طبقًا للنظرية القديمة. ويبدو طبقًا للنظرية الموجية أنه عندما تتقارب ذرتان تقاربًا شديدًا فقد يحدث في

حالات معينة تبادل سريع بين الذرتين للإلكترونات إلى الوراء والأمام، وهو ما يظهر لنا بمثابة قوة تشد الذرتين بعضهما إلى بعض. وهذه القوة في العادة أهم من التجاذبات والتنافرات الكهربائية المعتادة بين الجسيمات التي تتألف منها. ولا يحدث هذا التبادل إلا إذا كان بكل ذرة إلكترون فرد ليس له ما يزاوجه أي عندما تكون على الأقل إحدى «الخلايا» التي تعين بأرقام ثلاثة للكمة والتي قد تحتوي على إلكترونين متضادي الدرور لا يشغلها سوى إلكترونين فرد. وهذه الإلكترونات المفردة التي ليس لها ما يزاوجها هي وحدها التي يمكنها أن تعمل بهذه الكيفية. وتعتبر العملية إلى حد ما مشابهة لإكمال المجموعة الفرعية فيما عدا أن الزوج من الإلكترونات الذيفي الاتجاه المضاد يحل محل المجموعة ذات الثمانية. ومما يؤسف له أنه ليس بالاستطاعة الوصول إلى مقابل بسيط لفكرة الدرور الإلكترونيفي النظرية الذرية لأن الأهمية التي تعلقها هذه النظرية على تكملة الزوج تتضمن أن الدرور هو المسئول بوجه ما عن الترابط الكيماوبيللنوع غير القطبي. ولما كان عدد الإلكترونات المفردة في الذرة محدودًا فإن عدد الذرات التي يمكن أن تتحد معها على هذا الوجه يكون محدودًا كذلك.

وبهذا تظل الفكرة العامة للتكافؤ باقية. وفي أكثر الحالات نجد أن عددالإلكترونات المفردة متفق مع قيم التكافؤ الكيماوي المقبولة عادة. وفي بعض الحالات تفسر النظرية فروقًا معينة في السلوك بين ذرات متشابهة نوعًافي نفس المجموعة من الجدول الدوري. ويبدو من النظرية أن كل ذرتين ولو كان لها ما تحتاجان إليه من الإلكترونات الفردية التي ليس

لها مزاوج لن يتحدا فيكل مرة يتلاقيان فيها. وهناك طريقان محتملان للتقارب أحدهما يحدث تنافرًا والآخر تجاذبًا واتحادًا. ويمكن أن نتصور هذين الطريقين على أنهما مناظران لعلاقتين محتملتين بيد درور الإلكترونات المفردة في الذرات الذي قد يكون في نفس الاتجاه أو في اتجاهين متضادين.

وتمدنا هذه النظرية بتفسير كامل نطمئن إليه لأبسط جزيء وهو جزيء الهيدروجين. أما في الحالات الأخرى فالصعوبات الرياضية من العظم بحيث لا تسمح بأكثر من التنبؤ بعبارات عامة عما يكن أن نتوقعه، ولكن هذه التنبؤات تتفق مع الحقائق الكيماوية. وهذه النتيجة دون شك بداية موفقة نحو دراسة ظواهر الاتحاد الكيميائي.

والكيمياء بالضرورة علم شديد التعقد، وقد يكون من الضروري أن نتناول أنواعًا من الاتحاد غير النوعين السابقين، وعلى أية حال فإنهما يمثلان الطرفين اللذين يقع بينهما معظم الحالات وتنقل فيها الإلكترونات نقلًا تامًا من ذرة لأخرى ولا تتقاسم على السواء بينهما.

ومن بين أنواع الاتحاد الأخرى ما يتوقف على ما نسميه الجزيئات القطبية، فالماء مثلًا مركب تدل خصائصه الكيماوية على أن له شحنة موجبة في طرف وشحنة سالبة في الطرف الآخر من جزيئه. وكثير من الأملاح تأخذ عددًا من جزيئات الماء كلما سنحت لها الفرصة، ويسمى هذا الماء ماء التبلور. فإذا كانت بعض أقسام جزيء الملح مشحونة جذبت طرف جزيء الماء الذي به شحنة مضادة، وإن يك كلا الماء

والملح في جملتها متعادلتين، وليس لدى أيهما من الإلكترونات ما يستغنى عنه ليكون رباطًا.

وفي السنوات الأخيرة استخدم حيود إلكترون (الفصل الثاني عشر) بنجاح في تعيين المسافة بين الذرات في جزيئات الغازات. والعملية تشبه من بعض الوجوه استخدام الأشعة السينية لتعيين مواقع الذرات في البلورات فيتيسر بذلك تحليل المسافات بين الذرات في المواد التي لا تتبلور تبلورًا حسنًا أو التي تكون فيها المسافات بين الذرات في الغازات مخالفة لما تكون عليه في الأجسام الصلبة.

وبهذه الطريقة أمكن مثلًا تحديد مقاييس معينة للمسافة بين ذرات الكربون عندما تكون متحدة بروابط فردية أو مزدوجة أو مثلثة في حلقة البنزين.

ولا يستطيع علم الفيزيقيا التنبؤ بكل حقائق الكيمياء بسبب تعقدها، ولكنه قد نجح في تفسير القواعد شبه التجريبية التي وجدها الكيماويون صالحة لتنظيم النتائج العديدة التي تراكمت لديهم.

الفصل الخامس عشر

انفلاق الذرة

> النواة هي الجزء المميز للذرة. فإذا أبعدت عنها إلكتروناتها جميعًا، ولإن كان ذلك متعذرًا في حالة الذرة الثقيلة، نجد أنها في اللحظة التي تترك فيها وحدها تستعيد حالتها بسرعة باقتناص إلكترونات مما يحيط بها،

وتبعث في أثناء هذه العملية بأشعة السينية وضوءًا. أما إذا تغيرت النواة فسنجد أنفسنا أمام ذرة جديدة، أو ذرتين جديدتين إذا كان التغير قد أبعد بروتونات ونيترونات تستطيع تكوين نواة ثانية.

والنواة تتغير من تلقاء نفسها في حالة مزاولتها نشاطًا إشعاعيًا وينبعث منها جسيمات بيتا، و هي إلكتروناتها، أو جسيمات ألفا وهي نوى ذرات الهيليوم. وفي الأيام الأولى لدراسة النشاط الإشعاعي قامت محاولات كثيرة للتعجيل في خطى هذه العملية الطبيعية ولكنها كلها لم تثمر أية ثمرة، بل إن القذف بأشعة من مواد أخرى مشعة كان بلا جدوى. وليست لدينا اليوم وسائل معروفة لتعجيل هذه العملية، ولكن رغمًا عن استعصاء هذه العملية الإشعاعية الطبيعية على التعجيل فإن السنوات الواقعة بين الحربين العالميتين قد فتحت آفاقًا جديدة واسعة من

المعروفة ساعدت على إمكان إحداث تغيير في النواة، ويرجع الفضل فيها إلى حد كبير للورد رذرفورد.

وقد بدأت هذه الاكتشافات شأنها شأن ما عداها من الاكتشافات الخطيرة،في رفق وتوسع طفيف في الأبحاث السابقة حتى وصلت إلى نتائج لم تك متوقعة. فاصطدام جسيمات ألفا بالنوى الخفيفة قد درس في خزانة ولسن. ففي حالة الهواء مثلًا لم تكن النوى أثقل من جسيم ألفا بأكثر من أربع مرات. وفي أى اصطدام قريب يحدث فيه لجسيم ألفا انحراف عنيف وتدفع الصدمة النواة الأخرى إلى الأمام بطاقة هائلة فتتأين بالاصطدام وينتج عن ذلك مسير مرئي، ويظهر مسير جسيم ألفا بذلك على صورة شوكة إحدى شعبيتها ناتجة عن جسيم ألفا المنحرف والأخرى عن النواة التي ضربت، فإذا استعمل الهيدروجين بدلًا من الهواء، علمًا بأن نواة الهيدروجين تتألف من بروتون فرد وهي بذلك أخف فعلًا من جسيم ألفا، فإن انطلاق نواة الهيدروجين بعد الاصطدام قد يكون أعظم من الانطلاق الأصلي للشعاع كما أن مسيرها أطول.

وقد درس رذرفورد البروتوناتالسريعة التي نتجت بهذه الطريقة واستخدم حائلًا وهاجًا وضع خارج نطاق أشعة ألفا الأصلية بحيث لا تصله إلا البروتونات وحدها ولاحظ الومضات الناشئة، وعندما استخدم طبقة من مادة تحتوب على الهيدروجين كالشمع شاهد ما توقعه من وجود بروتونات طويلة المدى، ولكنه وجد أيضًا لدهشته أنه لقى أحيانًا ما يبدو أنه نفس الأثر في بعض الحالات التي لم يكن فيها هيدروجين،

وتبين له بمراجعة التجربة أن الومضات كان مرجعها لبرتونات سريعة وانتهى من ذلك إلى تلك النتيجة الباهرة وهيأنه في كثير من الظروف قد ينشأ عن اصطدام أشعة ألفا ببعض الذرات كالنيتروجين مثلًا انطلاق بروتون من النواة بسرعة كبيرة تكاد تقرب من سرعتها لو أنها كانت قسمًا من جزيء الهيدروجين. ولوحظ هذا الأثر في حالة عدد من العناصر الخفيفة وإن لم يتم ذلك فيها كلها. وفي حالة الألمونيوم كانت سرعة البروتون عالية بدرجة غير عادية، بل لقد كانت في الواقع من العلو والشدة بحيث يمكن الجزم بأن الصدم لابد وأن يكون قد أكسبها طاقة. وبهذه التجربة أرسى رذرفورد دعائم مرحلة جديدة في انفلاق الذرة.

وقد جاءت دراسة نتائج هذه الاصطدامات في خزانة ولسن بحقيقة تسترعي النظر، وهي أن جسيم ألفا يستقر داخل النواة بعد الاصطدام، ويتضح هذا من أن المسير المقابل لتفكك الذرة يبدو على صورة شوكة غير متساوية الشعبتين، فالشعبة الطويلة تقابل البروتون السريع الناتج عن الصدام والشعبة القصيرة تناظر تراجع بقية النواة. وليس هناك مسير ثالث كما كان ينبغي أن يكون لو أن جسيم ألفا واصل سيره، وينتج من هذا أن ما يبدو كأنه عملية هدم للذرة هو في الحقيقة عملية بناء، لأن النواة تكسب 4 وحدات من وحدات الكتلة و تفقد وحدة واحدة.

كان الفضل في التقدم التالي لكوككرفت ووالتن اللذين كانا يعملان تحت إشراف رذرفورد في معمل كافندش، فقد عملا على قذف عناصر خفيفة بإطلاق بروتونات عليها بدلًا من أشعة ألفا وذلك بعد أن نجحا في تعجيل البروتونات بجهد يقع فيما بين 100000، 600000 فولت حصلا عليه بطريقة هندسية كهربائية، ووجدا أن عددًا من العناصر المتفتتة تنتج في بعض الأحيان جسيمات ألفا صناعية، وقد اكتشف هذه عن طريق الومضات التي أحدثتها. وبعد ذلك أمكن مشاهدة مسيراتها في خزانة ولسن. وهذه التجارب تعتبر إلى حد ما عكس تجارب رذرفورد، فهنا تستخدم البروتونات لطرد جسيمات ألفا في حين أن رذرفورد استخدم جسيمات ألفا لإطلاق البروتونات. وقد استخدمت جسيمات أخرى للقذف، وبصفة خاصة نوى الهيدروجين الثقيل، وهو نظير للهيدروجين وزنه الذري 2، ويمكن عزلالهيدروجين الثقيل بالتحليل الكهربائي المتكرر للماء، و له تأثير فعال إذا استخدم للتفتيت. وفي الوقت ذاته تقريبًا جاءاكتشاف شدويك للنيوترون وهو ما أشرنا إليه في الفصل العاشر ولابد لنا من تناوله هنا بشيء من التفصيل.

كان من نتائج التجارب التي أجريت لمعرفة أثر أشعة ألفا على البريليوم أن انبعثت أشعة شديدة النفاذ شبيهة بأشعة جاما غير أن لها بعض الخصائص الغريبة التي تدعو للحيرة، وقد أدت صعوبة تفسيرها بدون شك إلى نتيجة مؤداها أنه بالإضافة إلى أشعة جاما توجد جسيمات ذات كنه أو فطرة غير معروفة لعلم الفيزيقيا إلى ذلك الحين، وقد أطلق على هذه الجسيمات اسم النيترونات. وأظهر خواصهما قوة النفاذ فهي

تستطيع اختراق نحو 10 سنتيمترات من الرصاص دون أن تفقد سوى شدتها في حين أن أقوى أشعة جاما نفاذًا، المنبعثة من المواد المشعة، لا تسطيع أن تخترق إلا نصف سنتيمتر في مثل هذه الظروف.

والنيترونات جسيمات ثقيلة نسبيًا يكاد وزنها يساوي وزن ذرة الهيدروجين، وهي بهذا أثقل كثيرًا من الإلكترونات أو أشعة بيتا، و ترجع قوة النفاذ لديها إلى أنها غير مشحونة، وبهذا فإن الإلكترونات أو النوى المشحونة في المواد التي تخترقها لا تقاومها إلا بقوة يسيرة بل لا تكاد تقاومها أصلًا. ويبدو أنه لا يحدث للنيترون انحراف ملحوظ أو إبطاء في حركته إلا إذا حدث ما يصح أن يوصف بأنه ضربة صائبة مباشرة نحو الهدف الصغير للنواة الذرية، فعند ذاك تقذف النواة المضروبة إلى الأمام مباشرة أو يميل، وينحرف النيترون بما يناظر ذلك.

وتسلك النوى المضروبة بحكم أنها مشحونة مسلك الأشعة ذات الأبعاد الذرية، ويمكن اكتشافها بالوسائل العادية ، بقياس التأين الذي تحدثه في غاز أو بمراقبة مسيرها كما يبدو للعين بقطرات الماء في خزانة ولسن. وهكذا لا يمكن ملاحظة النيترونات إلا بطريقة غير مباشرة، ولا تسنبط خصائصها إلا بملاحظة سلوك النوى التي تدفعها هذه النيترونات للحركة. وقد استطاع شدويك أن يعين، على الأقل بوجه تقريبي، كتلة النيترون بملاحظة مختلف السرعات التي تولدها في عدد من نوى مختلفة الكتل. وقد استخدم بالفعل في ذلك نوى الهيدروجين والنيتروجين. فإذا عملت السرعة التي يكتسبها هذان النوعان من النوى باصطدامها

بالنيترونات أمكن تطبيق بسيط لقوانين كمية التحرك باستنباط الانطلاق الأصلي للنيترونات وهو ما يقرب من عشرة ملايين متر في الثانية، أما كتلتها فهي شديدة القرب من كتلة ذرة الهيدروجين،وعلاوة على البريليوم تتكون النيوترونات بقذف اللثيوم والبورون والفلور والوديوم والمغنسيوم والألمونيوم بجسيمات ألفا، ويختلف مقدار ما ينتج من النيترونات باختلاف العناصر كما تختلف انطلاقاتها كذلك.

وتدخل بعض العناصر ضمن ما درسه رذرفورد في تجاربه المبكرة، فقد وجد كما ذكرنا من قبل أن القذف بجسيمات ألفا سبب انبعاث بروتونات سريعة، وإذن فالقذيفة الواحدة على الهدف الواحد يمكن أن تسبب نوعين من التفتت، وظاهر أن احتمال حدوث نوع ما في كل حالة أمر متروك للمصادفة، ومع ذلك ففي كلتا الحالتين، وهذا يصدق أيضًا على التجارب التي سنصفها بعد ذلك، يكون أول دور للتفتت أن تتلاحم القذيفة والهدف ليكونا نواة أكثر تعقيدا لا تلبث أن تنفجر.

وعلاوة على نوع التصادم الذي يضرب فيه النيترون نواة غريبة ويدفعها إلى الأمام توجد أنواع أخرى أهم يحدث فيها النيترون نفسه تفتتًا– أو بتعبير آخر ينشئ جيلًا جديدًا. وكان أول ما لوحظ ذلك في بعض العناصر الخفيفة كالبورون والنيتروجين والأكسجين والفلور، وهي عناصر تقذف نواها بجسيمات ألفا إذا ضربت بالنيترونات، وبذا تكون لدينا جسيمات ألفا تولد نيترونات، وهذه النيوترونات بدورها تولد جسيمات ألفا. ولكن الميزة الخاصة للنيوترونات من وجهة نظر الجراح

النوويهي أنها نظرًا لخلوها من الشحنة تيسر له سبر غور النوى الثقيلة ذات الأرقام الذرية الكبيرة (أي ذات الشحنة الموجبة الكبيرة) التي تطرد الجسيمات الشبيهة بالبروتونات وأشعة ألفا الموجبة الشحنة.

في سنة **1934** وفق العالم الفيزيقي الإيطالي فرمي لاكتشاف باهر وهو أن النيوترونات يمكن أن تحدث تفتتًاتنتج عنه نوى جديدة غير مستقرة وهي مشعة وتبعث بإلكترونات لفترة تتراوح بين ثوانٍ وساعات. وهذه العملية تحدث لكثير جدًا من العناصر بل تحدث في الواقع لأغلبية العناصر الثقيلة، وهي عملية ذات مرحلتين، ففي الأولى تستولى النواة الثقيلة على النيترون مع بعث جسيم من جسيمات ألفا حينًا، وحينًا آخر مع بعث بروتون، وأحيانًا دون حدوث أي تغير ما.

والنواة الحديثة التكوين وهي نظير لأحد العناصر الموجودة لم يكن معروفًا من قبل، تتفتت بعد تكوينها كأي عنصر من العناصر الطبيعية المشعة، فهي تبعث إلكترونًا في كل الحالات التي لاحظها فرمي، وتبدو تفاصيل العملية مشابهة كل الشبه تقريبًا لحالات الإشعاع الطبيعية التي ينبعث فيها لإلكترون (شعاع بيتا)، ولا يمكن على وجه التخصيص تحديد سرعة الشعاع بدقة وإن يكن هناك حد أعلى لكل مادة خاصة. وقدكان من نتائج هذا الاكتشاف الباهر أن زاد عدد النظائر المعروفة كما زاد عدد المواد المشعة زيادة هائلة.

ونشأ عن هذا الاكتشاف أن وجد فرمي أن النيوترونات تتأثر على وجه خاص عندما تخترق مواد تحتوي نسبة كبيرة من الإيدروجين

كالماء وشمع البرافين فتكون التصادمات مع البروتونات التيهي نوى ذرات الهيدروجين شديدة التأثير في إبطاء النيوترونات، وهذه النيوترونات البطيئة لها تاثير خاص في إحداث تلك الطائفة من التحولات النووية التي فيها يمتص النيوترون مباشرة في النواة دون انبعاث بروتونات أو جسيمات ألفا، مكونًا بذلك مادة مشعة. وفي حالات كهذه يمكن تكبير تأثير مصدر النيوترونات عشر مرات أو أكثر بإحاطة المصدر أو المادة التي يراد تحويل نواها بطبقة سميكة من الماء أو البرافين، فتنتشر النيوترونات خلال البرافين كانتشار جزيئات غاز في الهواء تقريبًا، وقد وجد في الإمكان توجيه سيل من النيوترونات داخل أنبوبة بتغطية جدارها بطبقة جدارها بطبقة سميكة من البرافين.

وقد بين مون تلمن بعد ذلك أن النيوترونات وصلت إلى مرحلة تكون فيها طاقتها مساوية لطاقة جزيئات المادة التي تخترقها، وتكون هذه الطاقة في حالة برودة هذه المادة أقل منها فيما لو كانت ساخنة.

وهناك اكتشاف آخر عجيب سبق اكتشاف النيترون بقليل، فقد كان معروفًا منذ وقت ما أن الجو يعبره إشعاع نفاذ يبدو أنه آت من خارج الأرض، وقد أطلق عليه اسم الشعة الكونية. وقد كان يظن في البدء أن هذا الإشعاع شبيه في طبيعته بالأشعة السينية وبأشعة جاما التي تنبعث من المواد المشعة ولا تختلف عنها إلا في أن طولها الموجي أقصر ولهذا كانت مقدرتها على النفاذ أعظم. ويكاد يكون من المحقق وجود إشعاعات من هذا النوع بينها، ولا يزال منشأ هذه الأشعة محل خلاف،

ولكن يبدو أن القسم الأكبر من الشعة، الأولية على الأقل،يتكون من جسيمات مشحونة بالكهرباء، إذ قد لوحظ أن الإشعاع أضعف بالقرب من خط الاستواء منه في خطوط العرض الأعلى. وخير تفسير معقول لهذا هو أن نتصور أن الجسيمات المشحونة التي تقع تحت تأثير مثل هذا المجال تنزع إلى التركزفي خطوط العرض الأعلى، ولا يمكن في الواقع أن يصل من هذه الجسيمات إلى الأرض في أية جهة قريبة من خط الاستواء إلا ما كان عظيم الطاقة، وكذلك تبين أن الأشعة تميل إلى دخول الجو من ناحية الغرب بدلًا من ناحية الشرق، وهي الجهة التي يتوقع الدخول منها لو أن أغلبية الجسيمات كانت موجبة الشحنة. والمعتقد الآن أن معظم الأشعة الأولية بروتونات لها طاقة عظيمة،وقدر متناسب معها من جسيمات ألفا، وعدد قليل من نوى أدق، ولكن كلها من طبيعة الأشعة وطاقتها تتبدل أو تتحول في أثناء مرورها عبر الجو. وفي الطبقات السفلى يوجد عدد من الأشعة يمكن إحداث انحراف فيها بتأثير مجالات مغناطيسية معتدلة. وإذا ضممنا شدة التأين الناتج عن الأشعة إلى انحرافها المغناطيسي دل ذلك على أنه في أكثر الحالات لابد أن تكون كتلتها أقرب إلى الإلكترون منها إلى أخف النوى كتلة. وفي أثناء دراسة هذه الأشعة لاحظ أندرسن في كليفورنيا مثلًا بروتونًا كان الانحراف المغناطيسي فيه يبدو كأنه اتخذ اتجاهًا خاطئًا، ودل الفحص الدقيق للنتائج على أنه لا يمكن أن يكون لهذا تفسير سوى أن نتصور أن الأثر الملاحظ قد نشأ عن إلكترون ذي شحنة موجبة. وبعد ذلك بقليل وجد بلاكت وأكشياليني، وكانا يعملان بكامبرج، عدة أمثلة أخرى مشابهة. وفي كثير

من الحالات كانت نسيرات الإلكترونات الموجبة تتجمع في وابل يتألف من عدد من من الأشع، قد يبلغ اثني عشر أو أكثر، يخرج متشعبًا من منطقة صغيرة. و كانت المسيرات عادة يناظر بعضها إلكترونات سالبة وبعضها يناظر إلكترونات موجبة، أو بوزترونات كما نسميها الآن.

وهذا الاكتشاف يسترعي الانتباه بصفة خاصة لعلاقته بما كان يبدو أنه نظرية غريبة جاء بها ديراك فإنه وهو يحاول أن يمثل رياضيًا الأمواج المرتبطة بالإلكترون وصل إلى نتيجة وهي أنه يجب أن يكون في إمكان مثل هذا الإلكترون أن يوجد في حالة طاقة سلبية، وهي فكرة و إن تعذر إدراكها فيزيقيًا إلا أنها قابلة للتعبير عنها رياضيًا، ولم يكن مثل هذا الأثر قد لوحظ من قبل، وفسر ديراك كون هذا الأثر تعذر إدراكه من قبل بكثرة شيوع هذا الجسيم في الكون، وقال إن كل الحالات الممكنة للطاقة السالبة هيفي الواقع مشغولة بإلكترونات تكون وسطًا متصلًا مجردًا من الخواص.

فلنفرض أن إلكترونًا غادر إحدى هذه الحالات السلبية الطاقة وظهر في حالة عادية، وهو ما تدل النظرية على إمكان حدوثه، فعندئذ يبدو لنا أن إلكترونًا قد ولد، كما يبدو لنا في الوقت نفسه تولد «ثغرة»في الوسط الممثل للحالات السلبية الطاقة. ومثل هذه «الثغرة»التي تمثل غياب إلكترون، تتحرك تحت تأثير قوة في اتجاه مضاد للاتجاه الذي يسير فيه الإلكترون العادي أي أنها تتحرك كما لو كانت مشحونة بكهربائية موجبة. وفوق هذا فإن غياب الطاقة السلبية يعادل

وجود طاقة موجبة، وبهذا يمكن استنتاج أن هذه الثغرة ستسلك سلوك جسيم ذي شحنة موجبة، ولها طاقة الإلكترون العادي وكتلته. ومثل هذه الثغرة لا تدوم فلا بد من أن يقع فيها إلكترون، إن عاجلًا وإن آجلًا، وإن العاجل أكثر احتمالًا، وعندئذ ينبعث فائض الطاقة على صورة أشعة سينية،ويمكن تفسير ذلك على أنه إفناء متبادل للإلكترونات الموجبة والسالبة وتحويل كتلتيهما إلى طاقة تكون معادلة للكتلتين طبقًا لنظرية النسبية.

وقد لوحظ مثل ذلك الأثر فعلًا، فالإلكترونات الموجبة إذا امتصتها المادة نشأ عن ذلك أشعة سينية نفاذة لها طاقة قريبة مما نحسبها على هذا الأساس. وعلاوة على هذا فقد لوحظ الأثر العكسي أيضًا إذ امتصتها ذرة ثقيلة كالرصاص نتج عنها تولد أزواج من الإلكترونات الموجبة والسالبة، ومن المعلوم أن بعض الإلكترونات السالبة كانت بلا شك في الذرة من البداية وأمكن لأشعة جاما أن تنتزعها بطريقة معروفة، لكن يذهب البعض إلى أن الإلكترونات الموجبة وعددًا مساويًا لها من السالبة قد نتجت أزواجًا طبقًا لنظرية ديراك بحيث ترفع الإلكترون من حالة الطاقة السلبية إلى حالة إيجابية فيبدو بذلك إلكترونًا عاديًا يمكن رؤيته، ويترك حالته السابقة خالية فتظهر بذلك كأنها إلكترون موجب. وهذه أقرب صورة وصلنا إليها لخلق المادة من الطاقة، وهي بطريقة سطحية تتلخص في أن إلكترونين أحدهما سالب والآخر موجب يتولدان من الإشعاع، وطبقاً لوجهة نظر ديراك يخرج الإلكترون من حالة كان

فيها مختفيًا أو غير ملحوظ فيصبح هو والثغرة التي خلفتها عرضة للملاحظة.

وهناك اكتشاف يتصل اتصالًا وثيقًا بهذا الاكتشاف، وقد اهتدى إليه جوليو و زوجته (إيرين كوري)، وكانت لهما صلة كذلك بالبحوث التي أدت إلى اكتشاف النيترون، فقد وجدا أنه عندما تطلق على بعض المواد قذائف من جسيمات ألفا فإنها تنتج علاوة على النوترونات نوى مشعة تبعث بإلكترونات موجبة. وهذا الاكتشاف سبق بالفعل اكتشاف فرمي وكان أول فرصة أمكن فيها توليد مواد مشعة صناعية، ولا تختلف هذهالمواد المشعة عن التي اكتشفها فرمي من حيث كونها نظائر لم تكن معروفة من قبل لعناصرر معلومة وأطلق عليها آل جوليو أسماء: نيتروجين مشع وألمنيوم مشع وسليسيوم مشع وفوسفور مشع، وهذه تتكون بإطلاق القذائف على البورون والمغنسيوم والألمنيوم على التوالي فيعطيالمغنسيوم اثنين من هذا الظائر، أما ما عداه فيعطي كل منه نظيرًا واحدًا، ويختلف الألمنيوم المشع عن غيره في أنه يعطي إلكترونات سالبة وبهذا يشبه في السلوك عناصر فرمي المشع.

وفي الفترة بين سنة **1933** والحرب الأخيرة ظهر في الوجود علم كامل جديد خير ما يوصف به أنه كيمياء نووية، وله كما للكيمياء رموزه ومعادلاته. فمثلًا المعادلة:

لث$_3^6$ + يد$_1^2$ ← هل $_2^4$ + هل$_3^4$

تعبر عن واحدة من عمليات التفتت لكوككروفت، وتقرر أن ذرة الليثوم التي كتلتها 6 ورقمها الذري 3 (وهي أحد النظيرين المستقرين لذلك العنصر) إذا قذفت بنواة الهيدروجين الثقيل ذات الكتلة 2 و الرقم الذري 1 فإنها تتحول إلى جسيمين من جسيمات ألفا وهي من نوى الهليوم كل منها كتلته 4 وشحنته 2.

ويلاحظ أن كلًا من الكتل والشحنات متعادلة في الجانبين. و اوحدة من الرموز المختصرة ^{6}لث (د∞)هد^{4} حيث ترمز د للديوترون، وهو الاسم الذي يطلق الآن على نواة الهيدروجين الثقيل. وإلى سنة 1939 كان قد عرف أكثر من عشرين نوعًا من أنواع التفتت المناظرة لمجموعات مختلفة من الجسيمات القاذفة أو الباعثة، وبلغ عدد المعادلات النووية الفعلية التي ثبت وجودها عدة مئات. ولا نستطيع في هذا المجال إلا أن نشير إشارة عابرة إلى مثل هذه الكمية الكبيرة من الحقائق بصيغة مجملة جدًا. وقد وضعت بالفعل بعض القواعد القليلة العامة، ولكن بعضها لا يصدق إلا إذا كانت طاقة القذائف الصناعية لا تتجاوز بضعة ملايين من الفولت الإلكتروني، وهو مدى الطاقة التي تستخدم في الأغلبية العظمى من هذه التجارب.

ولهذا اقتصرت القذائف حتى الآن على النوى ذات الأرقام الذرية الصغيرة، ويكاد يكون من المحقق أن علة ذلك هو أن تنافر ذات الشحنة الكبيرة مع النواة المقذوفة يمنعها من أن تصل إليها بالطاقة الى يمكن أن نحملها إياها في الوقت الحاضر. والجسيمات البطيئة الحركة الوحيدة التي

تستطيع إحداث شحنات نووية هي النيوترونات لأنها وحدها لا تقابل من النواة بالتنافر. والجسيمات المنبعثة تكون في العادة خفيفة كذلك ، ومن النادر أن يطلق أكثر من واحد منها من أية نواة واحدة تحت هذه الظروف، وإن كانت هناك حالات قد يظهر فيها نيوترونان أو ثلاثة، وكل المواد المشعة الصناعية التي أمكن تكوينها إلى اليوم هي من نوع باعثات بيتا التي تقذف إلكترونات أو بوزيترونات. وفي حالات أخرى يظهر الجسيم ولكنه لا يتمهل وقتًا كافيًا لقياسه. وتستطيع أشعة جاما ذات الطاقة العالية إطلاق نيوترونات من بعض النوى، وأحيانًا تطلق بروتونات كذلك، ويحدث أحيانًا أن تستولي النوى الحديثة التكون على إلكترونات تنتزع من الإلكترونات الموجودة في الذرة بطبيعتها، والأمر الأول الذي يقرر إمكان حدوث تفاعل من عدمه هو ما يكون لدينا من طاقة يمكن استخدامها.

وقد وضع بور نظرية للنواة تمكننا من أن نكون صورة معينة للعمليات التي تجري فيها و ي نظرية رياضية تمكننا من إجراء تقديرات تقريبية.

فهو يعتبر النواة تتألف من عدد من الجسيمات، والراجح أنها بروتونات ونيوترونات، ولا يستبعد أن يكون من بينها جسيمات ألفا أيضًا. وعلى عكس الإلكترونات السابحة خارج الذرة تكون هذه الجسيمات محكمة التماسك لدرجة تسلبها حرية الحركة الفردية وهي دائمة تناقل الطاقة فيما بينها، وحالتها في الواقع تشبه حالة الجزيئات في

سائل في حين أن حالة الإلكترونات الخارجية تشبه حالة الجزيئات في غاز متخلخل، والواقع أن تشبيهها بالسائل كان من الدقة بحيث مكن بور من أن يحسب بعض خواص النوى باستخدام ميكانيكا تذبذب قطرة المطر تحت قوة التوتر السطحي، وهذا نجاح باهر دون شك يسجل لطريقة المقابلة أو التمثيل العملية، وتذبذبات قطرة الماء هذه تمثل في الواقع التذبذبات النووية،التي تشبه كذلك ما يحدث للأجزاء الخارجية من الذرة عندما تبعث كمة من الإشعاع، فهنا أيضًا تبعث النواة كمات، وإن كانت طاقتها أشد كثيرًا، تناظر طبقًا لقانون بلانك الطاقات الشديدة التي تتميز بها العمليات النووية، وقد رأيناها على صورة أشعة جاما التي تصحب التغيرت الإشعاعية، ولكنها ليست مقصورة على العمليات الطبيعية، فهي تحدث في الأغلبية العظمى من عمليات التفتت النووي، ويبلغ جهد كماتها نحو مليون فولت إلكتروني، وهي تنشأ كما هي الحال في الكمات المنبعثة من الإلكترونات خارج الذرة، عن حدوث تنقل بين حالتين من حالات السكون أو «مناسيب الطاقة» (انظر الفصل الحادي عشر)، ولكن المناسيب في هذه الحالة تكون في النواة لا في الجزء الخارجي للذرة.

وتلعب مناسيب الطاقة هذه دورًا هامًا في النظرية النووية كما كانت تفعل المناسيب البصرية المناظرة في الطيفيات، وفي دراسة الجزء الخارجي للذرة، فإذا وجدت ذرة في حالة اضطراب أي كان منسوب طاقتها أعلى من المنسوب العادي فإنها تعود لحالتها الطبيعية بإطلاق طاقة على صورة أشعة جاما، ولكنها في بعض الحالات تكون لديها كذلك

الفرصة لإطلاق جسيم سواء أكان نيوترونًا أم جسيم ألفا أم بروتونًا أم غير ذلك، وكلها تحمل أيضًا إلى الخارج معها فيض الطاقة، وتتنافس هاتان العمليتان، ولكن لما كان انبعاث أشعة جاما يحدث على الفور فإنه لا يمكن أن تتاح الفرصة لمغالبتها في ذلك إلا لأشد صور انبعاث الجسيمات سرعة. ولا يقف ما تقوم به مناسيب الطاقة من دور هام عند الانبعاث بل تتعداه كذلك إلى الامتصاص، وقد وجد أنه من المحتمل كثيرًا أن يجد الجسيم طريقة إلى داخل النواة إذاكانت طاقته بحيث تجعل النواة المركبة تصل إلى أحد مناسيب طاقتها أو قريبًا منه . ويلعب عنصر المصادفة أو الصدفة هنا دورًا كبيرًا فقد تندر النواة إلى «المنسوب الأرضي» بإطلاق شعا ع جاما، وقد تتخلص من بعض الطاقة على صورة شعا ع جاما وتتخلص من الباقي بلفظ الجسيم إلى الخارج، أو قد تخرج في بعض الأحوال نوعًا من الجسيمات مختلفًا كل الاختلاف، ويطلق على الحالة الأولى حالة « الأسر» وعلى الثانية حالة «التصادم غير المرن» لأن الجسيم يرتد إثر تصادمه مع فقد طاقة، والثالثة هي حالة تفتت نووي حقيقي أو حالة تحول. وأخيرًا هناك صورة هامة للحالة الثالثة فيها تنشطر النواة إلى شطرين أو تنفلق إلى فلقتين غير متساويتين، وسيعالج هذا بإفاضة أوسع في الفصل التالي. و فيهذه الأحوال لا يكون ثمة معنى للتكلم عن طاقة جسيم بالذات فكل ما يعنينا هو النواة من حيث هي كل وأهم أثر لامتصاص المقذوف في النواة وهو زيادة المخزون العام فيها من طاقة يمكن أن نمد بها كل الجسيمات بداخلها.

ويقترح بور أنموذجا لعملية التصادم النووي يساعد على جعل ما يتضمنه من آراء أقرب إلى الدقة، فلنتصور قصعة مستديرة مملوءة بكرات البليارد، ولنفرض أن قاع القصعة مستوٍ وأن طرفها يميل برفق حتى يتصل بحافة مستوية تمتد في جميع الاتجاهات إلى ما لا نهاية، ويقع على مستوى أعلى من مستوى قاع القصعة، فالفرق بين المستويين يمثل الفرق بين الطاقة الكامنة لكرة البليارد في القصعة وكرة أخرى خارجها، أو بالقياس بين جسم داخل النواة وآخر خارجها،فالطاقة اللازمة لإخراج الجسيم (بروتون أو نيوترون) من النواة يمكن تقديرها من قيمة كتل مختلف النوى وهي تقرب من عشرة ملايين فولت. وسوف نعتبر أن هذا الجهد يمثل ارتفاع حافة القصعة مقيسًا بوحدات الطاقة، ولكل كرة في قاع القصعة نفس الطاقة الكامنة بشرط ألا تكون في منطقة الحدود الضيقة القريبة من الحافة، ولما كنا نفترض أن الكرات معبأه تعبيئًا كثيفًا وأنها تتعرض لاصطدامات متكررة في حركاتها فالقيمة المتوسطة لطاقة الحركة لكل منها تكون واحدة، وتكون طاقة الحركة لكل كرة مفردة عرضة لتقلبات حول المقدار المتوسط، ولكن إذا كان مجموع طاقة الحركة لكل الكرات أقل من طاقة الربط للجسيم النووي أو حوالي عشرة ملايين فولت فإنه لا يمكن لكرة مفردة أن تتلقى كمية مركزة من طاقة الحركة من الكرات الأخرى بحيث تكفي لمساعدتها على الهرب من فوق حافة القصعة مهما طال انتظارنا، وهذا يناظر النواة المستقرة للذرة العادية.

فلنفرض الآن أن كرة سريعة دخلت القصعة من مستوى الحافة، فإذا كان حشد الكرات متماسكة بعضها مع بعض وكانت من الخفة بدرجة كافية فإننا نستطيع أن نتصور أن الحشد كله قد يقذف إلى الأمام، ولكن المعتاد أن الكرة الصادمة تدخل القصعة وتفقد طاقتها سريعًا باصطدامها مع كرات متعددة في القطعة وبهذا تحول دون تركز طاقتها على كرة واحدة تركيزًا يمكنها من الانتقال فوق الحافة والهرب. وهذا هو أول مراحلالعملية، ويكون عدد الكرات في المجموعة قد زاد واحدًا، كما يكون متوسط طاقة الحركة لكل كرة قد زاد أيضًا.

فلنتناول الآن المرحلة الثانية، بعد الاستيلاء على الكرة السريعة تكون طاقة الحركة الكلية للمجموعة قد زادت إلى قيمة أكبر من «طاقة الربط » لكرة من الكرات حيث يحتمل أن يحدث بعد مرور فترة من الزمن، ونظرًا للتقلبات في توزيع الطاقة بين الكرات، أن تكون من بينها كرة قريبة من الحافة قد تلقت قدرًا من الطاقة المركزة تساعدها على التسلسل إلى الخارج قبل أن تصطدم بكرة أخرى.

وفي التشبيه النووى نعلم أن النواة غير المستقرة قد تفقد طاقة في صورة إشعاعات جاما، فإذا حدث هذا قبل أن تتاح الفرصة لجسيم للإفلات كان إطلاق جسيم بعد ذلك أبعد احتمالًا نتيجة لتناقص المدد من طاقة الحركة المتاحة لإجراء عملية «التركيز»، والوقت اللازم للعملية هو بالضرورة بالغ الصغر حتى إذا قيس بالمقاييس الذرية. وهذه

النظرية لا تشير إلى النشاط الإشعاعي الصناعيالذي نعلم الآن عنه أنه يأخذ دائمًا صورة ابتعاث إلكترون أو بوزترون.

ويمدنا أنموذج بور أيضًا بتفسير عام للتفتت الحادث بفعل جسيمات لها طاقة عالية جدًا، كالتي نحصل عليها من الماكينات الجبارة «المحطمة للذرات» وهي كالتي تنتج في الطبيعة بفعل الأشعة الكونية. وخير وسيلة لدراستها أن نجعل التفتت يحدث في المادة الحساسة (أو المستحلب) في لوح فوتوغرافي معد لذلك بصفة خاصة، فكل من الجسيمات المنبعثة والجسيم الذي أحدث التفتت تؤثر على بعض حبيبات المستحلب الفوتوغرافيفي أثناء مرورها فيه، وحين تعالج اللوحة بالأحماض يظهر عليها عدد من الخطوط بعضها منقط وبعضها كامل، متشبعة من نقطة واحدة، وهي معروفة لمن يدرسون « النجوم الذرية الفوتوغرافية» وكل خط فيها يمثل مسير جسيم، والخطوط الكاملة تمثل عادة مسير جسيم تزيد شحنته على الوحدة وكثيرًاما تساوي وحدتي الشحنة في جسيم ألفا، وإذا كان المستحلب شديد الحساسية فقد يمثل هذا الخط الكامل جسيمًا ذا شحنة مفردة يتحرك ببضع ملايين من الفولت، و إذا كانت الطاقة أعلى من ذلك بكثير قلت فرصة الجسيم لجعل الحبيبة قابلة للتحميض فلا تتأثر كل حبيبة ويبدو المسير خطًا متقطعًا. وبقياس التباعد بين النقط المتتابعة يمكن تقدير الجسيم وإن كان تقديرًا تقريبيًا.

وتدل القياسات التفصيلية لعدد كبير من «النجوم»على أن هناك توافقًا مقبولا مع ما كان يحدث لو أن النواة كانت شبيهة بنقطة ماء

شحنت إلى مايقرب من درجة الغليانبفعل طاقة التصادم، فالبروتونات وكذلك النيوترونات بلا شك – وإن كانت هذه لا تحدث أى مسير مرئي– تتبخر من سطح النواة كما تتبخر الجزيئات من سطح الماء في أثناء غليانه. وإذا كانت النواة صغيرة وطاقة التصادم كبيرة فقد تتفتت النواة تفتتًا تامًا. وقد يحدث غالبًا أن يتبقى جزء كبير من النواة لأن الطاقة لا تكون عادة كافية لهذا التفتت الكامل. ومما يلفت النظر أن بعض الديوترونات وجسيمات ألفا وأحيانًا كذلك فتات أثقل من هذه يقذف بها في أثناء العملية، وما ينبغي لأحد أن يتخذ من هذا دليلًا على أن مثل هذه الجسيمات وحدات كان لها وجود من قبل في النواة الأصلية، فمن المحتمل أنها تتولد في أثناء عملية التبخر، ويبدو أن النسب التي تظهر بها تحددها اعتبارات خاصة بالطاقة أكثر من أن تفصح عن معلومات عن بنية النواة الأصلية بحال من الأحوال.

ومع هذا فهناك مظاهر خاصة في بعض « النجوم» قد يكون مردها إلى ما في النوى من خصائص عجيبة، على أن مثل هذا التفتت العنيف بوجه عام يمددنا بمعلومات عن كيفية تكون النوى أقل من تلك التي تأتينا من التجارب التي تجري بطاقات أكثر اعتدالًا والتي لا يستثار فيها إلا مناسيب نووية قليلة فحسب تسمح لها بأن تشع، فالمرء بطبيعة الحال لا ينتظر أن يعرف كثيرًا عن الكمنجة مثلا إذا ضرب أوتارها بطرقة ثقيلة.

وعلى الرغم مما أحرزته نظرية بور من نجاح مدهش متلاحق فقد تحدها في السنوات القليلة الأخيرة وجهة نظر مختلفة، ذلك أن أعمال

الدكتورة ماريا ماير وغيرها قد أوضحت أن خواصًا معينة للنوى أكثر تعقدًا تذكرنا بخواص الأجزاء الخارجية للذرات، وهي الخواص التي تفسر بحركة الإلكترونات الفردية، وفي حالة النوى تحل بطبيعة الحال البروتونات والنيوترونات محل الإلكترونات، لكن يظهر أن هناك أدلة لعلها تبدو عجيبة محيرة تشير إلى أن بروتونًا مفردًا يتحرك خلال الكثافة ذات القيمة العالية الخارقة للنواة بحرية وطلاقة كما يتحرك الكوكب حول الشمس.

وهناك أيضًا أدلة على وجود قشور أو طبقات تذكرنا بطبقات الإلكترونات التي وصفناها في الفصل الثالث عشر وإن تكن أعداد الجسيمات في طبقات النوى ليست مطابقة لأعداد الإلكترونات في طبقات الأجزاء الخارجية للذرة. والمعتقد أن هذه ذات صلة بما يسمى الأعداد السحرية وهي أعداد النيوترونات والبروتونات التي عندها يحدث تغيرطفيف ملحوظ في اختلاف الطاقة وفي غيرها من الخواص النووية تبعًا لازدياد عدد الجسيمات. إن مشكلة بنية الذرة لا تزال بعيدة عن الحل فنحن إلى الآن لا نعرف عن يقين القوى التي تتماسك بها النواة حتى في أبسط حالاتها، أما النواة المعقدة فمعرفتنا لها أقل بكثير؛ ومع هذا فإن المعلومات تتجمع من كثير من المعامل وتتراكم بسرعة، وإنه لمن المدهش أننا نعرف هذا الكثير من تفاصيل النوى رغم أننا لا نزال في غموض ظاهر من المبادئ الأسسية التي تقوم عليها بنيتها، فالبنية النووية مشكلة تستهوي الباحثين قد لا تمضيسنوات كثيرة قبل أن تحل، ولكن الوصول إلى هذا لعله سيضمن على الأقل اكتشافًا واحدًا لمبدأ قد يضطر

علماءالفيزيقيا لأن يتخلوا عن آراء وأفكار تبدو الآن قائمة على أسس صحيحة أو يعدلوا فيها تعديلًا شاملًا صارمًا.

الفصل السادس عشر

الطاقة النووية

> عرف الجنس البشري من قديم كيف يستخرج الطاقة بالتفاعل الكيمياوي وخاصة بحرق الخشب والفحم، وفي هذه العملية تتبادل الذرات شركاءها وتصبح سطوحها كأنما قد اخشوشنت نتجية لهذا.

ولما كان تحول العناصر بعضها إلى بعض قد انتقل من أحلام الكيماويين القدماء إلى واقع المعامل، فإن إمكان إطلاق مقادير كبيرة من الطاقة بمثل هذه التغيرات قد أصبح من الأمور التي طالما عرضت للبحث. وقد تحققت بالفعل في سنة **1945** على صورة استرعت أنظار الناس جميعًا. والمعتاد أن نسمي هذه الطاقة الطاقة الذرية ولكن وصفها بالنووية أفضل لأن النواة هيالتي تتغير في عمليات التحول وتسبب ما يصحب ذلك من إطلاق الطاقة.

وقبل أن نصنف العمليات الواقعة التي استخدمت أو اقترحت لإطلاق الطاقة النووية يحسن أن نفسر كيف كان ذلك متوقعًا عن طريق نظرية تسمح بعمل تقديرات دقيقة حتى في الحالات التي لم تجر فيها أية تجربة، وهي إحدى نتائج النظرية النسبية التي تقرر أن الكتلة والطاقة متصلتان إحداهما بالأخرى أوثق اتصال بحيث إذا ظهرت إحداهما

اختفت الأخرى، فمثلًا عند إطلاق الطاقة في عملية كيماوية لابد أن يصحب ذلك نقص في الكتلة، فنواتج احتراق الشمعة لابد أن تزن أقل قليلًا من الشمعة مضافًا إليها الأكسجين اللازم لحرقها. وكان هذا الأثر قد بحث عنه قبل عهد آينشتين بكثير ولكنه استعصى على الباحثين. وهذا لا ينفي صحة النظرية لأن مقدار الأثر المتوقع في هذه الحالة بالغ الصغر = حوالى جزء من 2000000000 فقط.

وسرعة التبادل بين الكتلة والطاقة يصح أن يقال إنها في جانب الكتلة إلى حد كبير، فالكمية الكبيرة من الطاقة تناظر قدرًا جدًا من الكتلة. وينتج عن هذا أنه أمكن إحداث نقص محسوس في الكتلة الكلية بأي صفة كانت فإن إطلاق الطاقة اللازمة ذلك يكون هائلًا، فالتغير الصغير في الكتلة يكون قد أحدث كمية كبيرة جدًا من الطاقة، ولكن هل في استطاعة أحد قط أن يحدث تغييرًا محسوسًافي الكتلة؟

تجمعت في السنوات الثلاثين الأخيرة دلائل قوية على أن ذلك ممكن، فعندما ذكرنا وجود الذرات المتناظرة، أوضحنا أن أوزانها الذرية ستكون أعدادًا صحيحة على وجه التقريب إذا أخذ الأكسجين (والمقصود بالفعل هو أكثر نظائر الأكسجين شيوعًا) على أنه 16 تمامًا، ولكن الهيدروجين شذ عن ذلك بعض الشذوذ إذ زاد على العدد الصحيح نحو ثمانية أجزاء من ألف جزء فكان وزنه الذري 1،0081، وفي الواقع تظهر بعض الذرات الأخرى كذلك بعض الفروق وإن تكن أقل بروزًا، وأما النيوترون فيزيد بما يقرب من 9 أجزاء من ألف، فإذا

كانت نواة الأكسجين مثلًا مؤلفة من نيوترونات وبروتونات فسيتجمع من هذه الأوزان الكسرية الستة عشر ما يبلغ واحدًافي المائة من الواحدة زائدًا عن الحاجة، وأغلب الظن أنه لا مفر من التخلص منه على صورة طاقة، وأن الطاقة الناشئة عنه ستكون بمقدار هائل.

ولم يعمد أحد إلى إحداث هذا التجميع أو التركيب بعينه، و لكن هناك من الأسباب ما يحمل على الاعتقاد بأن الشمس وأكثر النجوم تستمد الطاقة التي تشعها بهذا القدر البالغ حد العظم من نوع مشابه من التجميع وهو تركيب الهيليوم من الهيدروجين، وقد بحث «بيث» ما يحتمل أن تكون عليه هذه العملية التي تستخدم الكربون كنوع من العوامل المساعدة، فيسير الكربون في دورة من التغيرات ثم يعود للظهور في نهايتها دون أن يعتريه أي تغير، وفي هذه الدورة لا تكون هناك إضافة مباشرة للنيوترونات، ولكن عملية النشاط الإشعاعيالتي تتم في مرحلتين من المراحل المتوسطة يصحبها انبعاث بوزترونات، وبذلك تختزل الشحنة النووية التي على اثنين من البروتونات الأربعة التي تستلهم في تكوين كل ذرة من ذرات الهيليوم فتحولها إلى بيترويين. وهذه العملية التي تتوقف على التفاعل بين نوى مشحونة لا يمكن حدوثها إلا في درجات حرارة بالغة الهول، تصل إلى ملايين كثيرة من الدرجات المئوية، لأنه لا يمكن في غير درجات الحرارة هذه أن يكتسب عدد محسوس من البروتونات الطاقة اللازمة لتوصليها إلى المدى الفعال لتأثير نوى الكربون ضد قوى التنافر بين شحنتيهما.

وتتولد الطاقة في القنبلة الهيدروجينية من مصدر مشابه، وإن نتجت عن عملية مغايرة تمامًا. ولكن أولى بشائر استخدام الطاقة النووية لم تظهر في الأفق من هذا الاتجاه. لقد أظهرت دراسة أستون التفصيلية لأوزان النظائر اختلافات أخرى كثيرة عن الأعداد الصحيحة – مشابهة في طبيعتها لما اكتشف للهيدروجين – وإن تكن دونها قيمة، وقد اقتضت هذه التجارب مهارة يدوية من أرفع طراز كانت الأساس لما تلى ذلك من أبحاث في الطاقة النووية، فهي مثل جيد يرينا كيف يؤدي القياس الدقيق إلى نتائج هامة.

والحق أن أكثر النظائر تظهر انحرافًا محسوسًا عن قاعدة الأعداد الصحيحة، ففي تجارب التفتت التي قام بها كوككروفت وآخرون امكن إثبات العلاقة التي قررها آينشتين إثباتًا علميًا بمقارنة الفرق في أوزان النوى قبل التفاعل وبعده، كما وصلإليها أستون بالفرق بين طاقات الجسيمات المهاجة الأصلية والطاقات الناتجة من التفاعل. وبعد أن تقررت القاعدة في هذه الحالة أمكن استخدامها في حساب كتل الأنواع الذرية النادرة أو العارضة من رصيد الطاقة في التفاعل الذي أحدثها. والاختلافات التيتفرق أوزان النظائر عن الأعداد الصحيحة وإن تكن مما يميز الأنواع الخاصة إلا أن لها اتجاهًا عامًا، فبالقياس إلى الأكسجين، وهو وإن يكن معيارًا اختياريًا إلا أنه معيار مناسب، نرى العناصر الخفيفة إلى مايقرب من الأكسجين تظهر عادة زيادة في الوزن، فهي أعداد صحيحة زائدة كسرًا، والعناصر المتوسطة إلى حوالي الأريديوم تكون أعدادًا صحيحة ناقصة كسرًا،في حين أن ما بعد الأريديوم أو البلاتين تكون

أعدادًا صحيحة وكسرًا مرة ثانية. وينتج عن هذا أن الوزن الكلي يمكن إنقاصه وإطلاق الطاقة تبعًا لذلك لا بالبناء من الهيدروجين وبعض العناصر الخفيفة الأخرى فحسب بل بتفتيت أثقل العناصر كذلك.

وهذا هو مايحدث بعينه تمامًافي عمليات النشاط الإشعاعي، فالأشعة السريعة المنبعثة تحمل طاقة تظهر على صورة حرارة عندما تمتص الأشعة، والكمية الناشئة عن هذا صغيرة عمليًا لأن المواد المشعة التي تتفتت سريعًا لا توجد منها إلا كميات صغيرة جدًا، والمواد الأخرى تستغرق في ذلك وقتًا طويلًا يجعلها قليلة القيمة عمليًا. وعلى هذا فالانبعاث التلقائي من رطل اليورانيوم يمكن أن يمدنا بطاقة كافية لتسيير سفينة عبر الأطلنطي ولكن اليورانيوم يتطلب ألف مليون سنة لكي يمدنا بذلك.

ولا يمكن تعجيل النشاط الإشعاعب. و كانت التجارب التي أجراها رذرفورد أولى التجارب التي أمكن فيها الوصول إلى إطلاق الطاقة النووية قصدًا وعمدًا، فأشعة ألفا التي استخدمها رذرفورد نقلت طاقتها إلى النوى التي أصابتها ولكن حدث في بعض الحالات أن كانت طاقة البروتون، الناتجة أكثر في الواقع من طاقة جسيم ألفا المسببة لها، أي أنه كان هناك كسب في الطاقة في هذه العملية. وهذه الطريقة لسوء حظها لا يمكن استخدامها كمصدر عملي للطاقة لأنه لا يحدث اصطدام من النوع المنسوب لرذرفورد إلا نادرًا جدًا، والأغلبية العظمى من جسيمات ألفا – فيما عدا واحدًافي المليون منها – تقف حركتها دون أن

يتسنى لها البتة الوصول قريبًا من نواة المادة التي تهاجمها، فهي تقف بسبب كثرة اصطدامها بالإلكترونات المتعددة التي تنجذب إليها، وليس باصطدامها بالنوى الصغيرة جدًا التيتتنافر معها وهو مما يزيد الأمر سوءًا.

وهكذا تكون محاولة إطلاق الطاقة النووية بقذف مادة بجسيمات مشحونة تشبه محاولة إلقاء قنبلة على مخازن ذخيرة موزعة على مسافات كبيرة، فقد تنجح إصابة موفقة من آن لآخر في إحداث انفجار مناسب يكبد العدو بعض الخسارة، ولكن يمكن القول إجمالًا إن المهاجم سيفقد من القنابل أكثر كثيرًا مما سيدمر من الذخائر.

وقد تغير الموقف باكتشاف النيوترون، فهاهنا أخيرًا جسيم متى أطلق كان من المحقق أن يحدث شيئًا من التغيير النووي قبل أن يموت، فلا أقل من أن يحول أحد النظائر إلى آخر بإلصاق نفسه بنواته إن لم يستطع أكثر من ذلك، و في كثير من الحالات يكون التغيير الذي يحدثه من شأنه إطلاق طاقة، ومما يؤسف له أنه يتعين في أكثر الحالات أن يصنع النيوترون بعملية من نوع عملية رذرفورد في أساسها بما فيها من احتمال عدم الإصابة بنسبة مليون إلى واحد.

ومع هذا فإن هناك سبيلًا واحدًا للخروج من المأزق وهو سبيل كان تاريخ اكتشافه يسترعي ويبهر، فإن فرميفي دراسته لتأثير النيوترونات على كثير من العناصر جرب تأثير هذه النيوترونات على اليورانيوم ووجد شواهد على وجود ما يبدو أنه سلسلة كاملة من عناصر تزيد أرقامها الذرية على 92، وهو الرقم الذري لليورانيوم

وأعلى رقم كان معروفًا إلى ذلك الحين. ولكن هذه العناصر لم يكن مسلكها كما كان يتوقع منها وأحبط الأمر كله بالغموض.

وفي نهاية سنة **1938** وجد « هان» و«إستر اسمان» أن كثيرًا من العناصر ذات الأوزان المعتدلة – و بصفة خاصةالباريوم – نتجت عن تفاعل النيوترونات مع اليورانيوم، وقد تريثا في استخلاص أية نتيجة معينة وترك الأمر حتى جاءت الدكتورة لين مايتنر، زميلة هان السابقة في العمل، وابن أخيها الدكتور فريش وكانا من المهاجرين يعملان مع بور في كوبنهاجن، فاقترحا أن نواة اليورانيوم بأجمعها بعد امتصاص النيوترون يصح أن تنقسم إلى قسمين متساويين تقريبًا، واستطاع فريش أن يحقق بسرعة صحة هذا الاقتراح فبين أن الجزءين كانا يتنافران بطاقة عظيمة ناتجة عن تنافر شحنتيهما الموجبتين طبقًا للاعتبارت الخاصة بالكتلة والطاقة والتي ناقشناها فيما سبق، فاليورانيوم، وهو أثقل النوى الطبيعية، ينشطر إلى نواتين لكل منهما وزن معتدل ويصحب ذلك نقص في الكتلة، وبالتالي إطلاق الطاقة، ووجد أن العنصرين التاليين في الثقل وهما الثوريوم والعنصر المشع المسمى بروتو أكتنيوم يسلكان نفس المسلك.

وهذا الانفلاق يمكن تصوره بوضوح من نظرية بور للقطرة، فنواة اليورانيوم تشبه قطرة مطر كبيرة مكهربة يصعب عليها التماسك مع وجود التنافر المادي بين الشحنات التي على سطحها. وقدوم نيوترون إضافي ولا سيما إذا كان سريع الحركة يكون فوق احتمالها، فتنشأ

تذبذبات كبيرة ويتغير شكل سطح حيث يتكون حزام ضيق وتنقسم إلى قسمين.

ويمكن الاستطراد بالتشبيه لما هو أبعد من ذلك، فكما أن قطرة المطر المتجزئة ينتظر أن يخرج منها رذاذ من القطرات الدقيقة إلى جانب الجزءين الأصليين، فكذلك تنتج نواة اليورانيوم رذاذها لا من الماء لكن من النيوترونات، فهذا هو لباب الأمر كله فتلك النيوترونات المنتشرة رذاذًا يمكن استخدامها ثانية لتفتيت ذرات جديدة من اليورانيوم، وهذه بدورها تنتج نيوترونات أخرى، وهكذا بعملية من عمليات التكاثر التي لا نهاية لها و التي تشبه تكاثر بعض الكائنات العضوية البسيطة. ولما كانت النواة من نوى اليورانيوم تنقسم تطلق نحو **200** مليون فولت من الطاقة (وبقياس هذا إلى ما يحدث عند احتراق ذرة من الكربون فكل ما تطلقه هو دون فولت واحد)،فإن إمكانية إطلاق مقادير هائلة من الطاقة بسرعة تتضح لنا.

ومنذ أوائل سنة **1939** بدأ علماء الفيزيقيا في كثير من البلاد يعملون بجد وتوسع على هذه الأسس وقد واجهتهم صعاب جمة يتعين لتقديرها أن ندرس بوضوح تركيب اليورانيوم واحتياجات العملية. فاليورانيوم يتألف من نظيرين أساسين أحدهما رقم كتلته **235** ويكون **0،7** من مجموعهما والثاني رقم كتلته **238** ويكون الغالبية الباقية ولكل من هاتين الذرتين النظريتين خواص انشطارية مختلفة، فكلاهما للانشطار إذا أطلقت عليه نيوترونات سريعة، ولكن اليورانيوم **235** وحده هو

الذي ينقسم إذا كانت النيوترونات بطيئة، أما النيوترونات السريعة فلا يحدث دائمًا انشطارًافي اليورانيوم 238 فقد تعاني صدًا غير مرن وترتد بسرعة منقوصة مخلفة النواة دون تغير، وهذه النيوترونات المبطأة تصبح بسرعات عاجزة تمامًا عن إحداث أي انشطار في اليورانيوم 238.

وزيادة على هذا فإن النيوترونات البطيئة تكون قابلة لأن تمتص أو أن «تؤسر» في اليورانيوم 238 دون أن تشطره وهذا هو الفارق بين النوعين، إذ أن اليورانيوم 235 هو وحده الذي يمكن شطره بهذه الطاقات. ولما كان اليورانيوم العادي يحتوي على مقادير من اليورانيوم 338 أكثر بكثير مما يحتوى من 235 فتكون النتيجة النهائية هي عدم تكاثر النيوترونات في كتلة من هذه المادة. وهناك طريقان ممكنان للتغلبعلى هذه الصعوبة: الأول أن نفصل النظيرتين ونستخدم النظير 235 وحده أو نستخدمه ومعه قليل من النظير 238، ولكن فصل النظائر أمر شديد الصعوبة ولاسيما متى كان الفرق بين النسبة المئوية لكتلة كل منهما صغيرًا كما هو الحال في اليورانيوم، والطريقة الكيماوية مستحيلة لأنه لا يكاد يكون هناك فرق في الخصائص الكيماوية، والوسائل الوحيدة الممكنة هي وسائل فيزيقية تتوقف مباشرة إن قليلًا وإما كثيرًا على الفرق بين الكتلتين.

ومن هذه الوسائل المستخدمة وسيلة استعملت في الولايات المتحدة الأمريكية، وفي إنجلترا حيث كانت محل دراسة طويلة منذ عهد بعيد جدًا، وهي طريقة انتشار الغازات خلال ثقوب صغيرة، ففي الخليط

الغازي يكون متوسط حركة الجزيئات الأخف أسرع. ولذا فإنها تنزعللنفاذ من الثقوب في أى حاجز قبل الجزيئات الثقيلة، وبهذه الطريقة يمكن تحقيق الانفصال.

وإذا جمع أول قسم من الغاز ينفذ من خلال الثقوب فإنه سيحتوي على جزيئات خفيفة أكثر كما أن المتخلف سيحتوي على جزيئات ثقيلة أكثر مما كانت عليه في الخليط الأصلي، وإذا طبق هذا على فصل اليورانيوم كانت الجزيئات الأثقل هي المحتوية على اليورانيوم 238 والأخف هي المحتوية على اليورانيوم 235. ومما يؤسف أن الأثر ضعيف جدًا، ولما كان فلز اليورانيوم غير قابل للتبخر بسهولة فإن مركبًا غازيًا وهو سادس فلوريد اليورانيوم هو الذي يستعمل، وباستعماله في أفضل الظروف يكون عامل الفصل هو 1،0043 ومعناه أننا بعملية واحدة نبدأ فيها بيورانيوم طبيعي، يحتوي على 0،7 في المائة من 235 يكون مايستطاع جمعه كمية صغيرة تعادل 0،7 × 1،0043 أو 0،7030 في المائة من يورانيوم 235. وواضح أن هذا يتطلب إجراء مراحل كثيرة جدًا كهذه تصل في الواقع إلى الألف كي يتسنى الوصول إلى شيء يقرب من يورانيوم 235 النقي.

وهناك طريقة أخرى تعرف بطريقة الفصل الكهربائي المغناطيسي وهي تسترعي الانتباه لأنها في أساسها تشبه الطريقة التي دلل بها أستون لأول مرة على وجود النظائر، ففي خلال عمله كله الذي امتد سنوات طويلة يحتمل ألا يكون قد استطاع البتة أن يفصل من جميع النظائر ما

يبلغ حجم رأس دبوس لو ضم بعضه إلى بعض، وهذا يصور لنا الجهد اللازم للتوسع في العملية حتى نصل إلى استخراج مجرد رطل واحد، ومع هذا فإن للطريقة ميزة إمكان إجراء الفصل الكامل، من حيث المبدأ على الأقل،في مرحلة واحدة، والواقع أنه قد نسى التغلب على الصعوبات.

ومتى أمكن الحصول على اليورانيوم 235 نقيًا بأية طريقة أمكن إحداث تفاعل متسلسل، فالنيوترونات لا تضيع الآن بامتصاص يورانيوم 238 لها، وهي قادرة على إحداث الانشطار بالتكاثر اللانهائي باستثناء تلك النيوترونات التي تفلت من اليورانيوم كلية، وهو استثناء هام. ونسبة ما تتاح له منها فرصة الإفلات تتوقف على حجم كتلة اليورانيوم المستخدمة، ذلك لأن ما يهرب من النيوترونات هو ما يكون قريبًا من السطح، فإذا كبرت الكتلة كانت هذه كسرًا صغيرًا من المجموع، أما إذا صغرت الكتلة فإن هذه تزداد أهميتها نسبيًا، ومعنى ذلك أننا لا نستطيع الحصول على تفاعل متسلسل إلا إذا جاوزت الكتلة قدرًا معينًا يسمى القدر الحرج فإن قلت عنه أفلتت منها نسبة كبيرة من النيوترونات المتكونة قبل أن تتمكن من إحداث الانشطار، وبذلك تزول أو تنعدم المجموعة من النيوترونات، تزول بدلًا من أن تتكاثر، أي نسبة الهجرة تزيد على نسبة الميلاد.

أما إذا كانت الكتلة تزيد على القدر الحرج فإن التفاعل المتسلسل يتسع ويزداد عدد النيوترونات، و تبعًا لذلك يزداد الانشطار بسرعة هائلة وتخرج من كل انشطار طاقة كبيرة ينشأ عنها انفجار شديد

الترويع. وكل ما نحتاج إليه هو مجرد وجود الكتلة وبعض نيوترونات شاردة لبدئه، ولما كان الجو يحوي دائمًا بعض النيوترونات الناشئة من الأشعة الكونية فإن مثل هذه الكتلة ستنفجر من نفسها، وهكذا نجد أننا أمام لغز يتصل بمادة معينة تكون مأمونة تمامًا بشرط ألا يتجمع منها في أى مكان واحد إلا كمية صغيرة جدًا، لكنها تصير فتاكة لدرجة مرعبة إذا زاد الموجود منها على الكمية الحرجة.

ولكي نستخدمها كإحدى المفرقعات فكل ما تحتاج إليه هو أن تكون منها قطعتين كل منهما أقل من الكمية الحرجة، فإذا ضما وتجاوز قدرهما القدر الحرج فإن الانفجار يحدث بغاية السرعة.

لكن هناك عدا استخدام الطاقة النووية للتدمير الشديد طريقة أهدأ يمكن إحداث التفاعل المتسلسل بها، وهي طريقة قد تحققت من الوجهة التاريخية قبل الطريقة السالفة الذكر، وجاء أول دليل على إمكانيتها في سنة **1941** على أيدي هالبان وكوفالسكي اللذين وفدا بعد سقوط فرنسا على بريطانيا من باريس وكانا يعملان فيها بمعمل جوليو. أما أول ما تحققت بالفعل فكان في شيكاغو على أيدي فرمي وكومتون في أواخر سنة **1942**. وتقوم هذه الطريقة فيأساسها على محاولة تبطئة النيوترونات عمدًا وعلى استخدام يورانيوم **235**،والذي يحدث هو أن معظم استيلاء أو أسر يورانيوم **238** على النيوترونات، وهو ما يناهض للأسف الأثر المطلوب، يحدث عندما تكون للنيوترونات طاقة – وإن كانت في ذاتها صغير إذا قيست إلى ما كانت عليه وقت

إطلاقها – إلا أنها أكبر بكثير مما نسميه الطاقة الحرارية التي يكتسبها النيوترون بعد اصطدامه عدة مرات بالنوى المحيطة به، فإذا أبطئت النيوترونات بسرعة أمكن النجاة بها متجاوزة هذه المرحلة الخطوة، وبهذا تكون فرصة اليورانيوم 235 كافية لإحداث التكاثر. وللوصول إلى ذلك تستخدم مادة تسمى «الملطف أو المهدئ»، والمهدئ المثالي هو مادة تتركب من ذرات خفيفة لا تمتص بنفسها النيوترونات. وإنما وجب أن تكون خفيفة لأن الذرات كلما خفت كانت أقدر على أن تفقد النيوترونات بعض طاقتها إذا اصطدمت بها.

وقد جرب في أول الأمر الهيدروجين في صورة ماء أو برافين، والهيدروجين خفيف ولكنه سريع الامتصاص للنيوترونات ولهذا يخفق في توليد التكاثر، والهيدروجين الثقيل في صورة ماء ثقيل أفضل كثيرًاوكان هذا هو ما استخدمه هالبان في إحداث التسلسل، وقد حمل معه لإنجلترا معظم رصيد العالم من الماء الثقيل. والهيدروجين الثقيل باهظ الثمن لسوء الحظ ونحن بحاجة لاستخدام مقادير كبيرة منه، والجرافيت النقي يصلح بديلًا عنه وهذا هو ما استعمل في الولايات المتحدة، وهو بالضرورة أثقل من الهيدروجين كثيرا ولهذا كان أثره أضعف، ولكنه يمكن أن يؤدي الغرض، وقد شيد العلماء الأمريكيون «مفاعلات أو أعمدة ذرية» بأعداد كبيرة من لبنات الجرافيت بنيت منها كتلة صلبة تتخللها قضبان من اليورانيوم.

ومن الوجهة المثالية تسير النيوترونات الناتجة بالاشطار في قضيب إلى الجرافيت حيث تبطؤ سرعتها ثم تعود ثانية إلى اليورانيوم حيث يحدث معظمها انشطارًا في يورانيوم 235، ومثل هذه العملية لا يمكن استخدامها كقنبلة، نعم إنها إذا أفلتت من قبضتنا فإنها قد تنفجر ولكن انفجارها سيكون بقوة معتدلة فحسب، فالنيوترونات تأخذ وقتًا حتى تبطؤ حركتها وبهذا يصير معدل تكاثرها معتدلًا. والواقع أن المراحل الأولى للانفجار تحدث انهيارًا في المفاعل أو العمود فيبطل عمله قبل أن تنطلق منه الطاقة بصورة خطرة. ومثل هذا المفاعل يمكن التحكم فيه بعدة طرق، كتعمد إدخال مادة تمتص النيوترونات مثلًا، وكذلك تقل فرصة يورانيوم 235 للامتصاص بفعل الانشطار كلما ارتفعت درجة الحرارة، أي أن الحرارة المتولدة عند بدء الانفجار من شأنها أن تعمل على وقف العملية وإن يكن هذا الأثر ضعيفًا، ومن حسن الحظ كذلك أن نسبة صغيرة من النيوترونات بدلًا من أن تنطلق على التو تتأخر بضع ثوانٍ وهذا يعمل على تبطئة التكاثر ويجعل العملية أيسر.

وفي مثل هذا المفاعل تنطلق الطاقة النووية ثم تظهر في النهاية على صورة حرارة يمكن استخدامها في تسخين غلاية لإدارة آلة، ولم يكن هذا في الواقع غرض الولايات المتحدة من المفاعلات بل إنها كانت تعد لأغراض حربية، وكانت الطاقة المتولدة أقرب لأن تكون نتاجًا ثانويًا غير مرغوب فيه، فقد كان الغرض صنع عنصر يسمى البلوتونيوم، ولكي نفهم ذلك يجب أن نعود إلى مرحلة سابقة، فقد وجد فرميشواهد على وجود عناصر ذات رقم ذري أكبر من 92 ، وقد ظهر أن بعض هذه

العناصر هيفي الواقع عناصر عادية نشأت من الانشطار، ولكن منها اثنان حقيقيان هما النيتونيوم ورقمه الذري 93 و البلوتنيوم ورقمه الذري 94، وفي الواقع عندما يأسر اليورانيوم 238 النيوترونات شبه البطيئة كما بينا من قبل يصبح يورانيومًا نظيرًا 239، وهذا يبعث جسيمًا من جسيمات بيتا ويتحول إلى نبتونيوم، وهذا بدوره يبعث جسيمًا ثانيًا من جسيمات بيتا ويتحول إلى بلوتنيوم، وبهذا أصبحت العملية التي كانت تقاوم عمل المفاعل هي بذاتها التي تمدنا بنتاجها البالغ الأهمية، فالبلوتنيوم كاليورانيوم 235 قابل للتفتت وهو مادة تصلح لعمل القنابل .

وفوق ذلك فإنها تختلف كيماويًا عن اليورانيوم بوصفها عنصرًا جديدًا، وبعد أن يتجمع منها في اليورانيوم كمية معقولة يمكن استخلاصها من غير أن نواجه شيئًا أكثر من الصعوبات المعتادة فيما نتناوله من عمليات كيماوية.

وعندما نتجه إلى استخدام الطاقة النووية للأغراض السلمية فإنا نجد أن إطلاق الطاقة هو النتاج الأساسي وكون البلوتنيوم هو مجرد إضافة لها قيمتها حيث يمكن إحلاله محل اليورانيوم 235 الذي أتلفه فعل المفاعل، وإذا أريد استخدام الطاقة النووية لأغراض تطبيقية فيجب أن يعمل المفاعل في درجة حرارة مرتفعة حتى يمكن استخدام الحرارة الناتجة فيه استخدامًا فعالًا لتوليد قدرة.

ولاصعوبة في ذلك من حيث المبدأ، فإن المفاعل إذا عمل على تكاثر النيوترونات ارتفعت حرارته بسرعة واستمرت ترتفع إلى أن نصل إلى درجة من التحكم نجعل بها عدد النيوترونات المفقودة مساويًا للعدد المتولد. وليست الناحية العملية في هذا المفاعل بالشيء الهين، فإن تصميمه بحيث يعمل في درجة حرارة مرتفعة ينشأ عن صعاب بالغة وإحدى هذه الصعاب أن كثيرًا من الذرات تمتص النيوترونات وتعمل على تعطيل المفاعل عن العمل إذا استخدمت بمقادير كبيرة وهذا يقيدنا في اختيار المواد.

ومع هذا فإننا ما إن نتغلب على هذه الصعاب، فهناك ما يغري على متابعة التفكير في التطبيقات الممكنة، فنحن إذا وازنا بين بين اليورانيوم والفحم وجدنا الأول يطلق من الطاقة قدر ما يطلقه الثاني مليون مرة لكل رطل، ومن جهة أخرى تزيد نفقته حوالي ألف مرة على نفس الأساس. ومنالصعب أن نقرر ما إذا كانت النفقة ستزيد أو تقل إذ لا يستطيع المرء شيئًا أكثر من مجرد الحدس عن الموارد العالمية الممكنة لليورانيوم، والمعروف عنها حتى الساعة ليس كثيرًا ولكنها قدرت أصلًا على أساس ما تحتويه من راديوم وقد لا يكون البحث عنها فيما مضى كاملًا شاملًا، فنحن لا نملك إلا أننتذكر رغمًا عنا كيف استطاعت موارد الزيت التي كانت تبدو محددة أن تساير إلى اليوم حاجات العالم. وقد يحدث مثل ذلك هنا أيضًا.

والطاقة النووية بلاشك ستستعمل أول ما تستعمل في مولدات كبيرة، ويرجع ذلك من ناحية إلى قيود «الحجم الحرج» ولكنه يرجع أكثر من ذلك إلى أن مثل هذه المحطة يجب بالضرورة أن تولد كميات هائلة من النيوترونات وكذلك من أشعة جاما وقد يتسرب بعضها. والنيوترونات لها أثر فسيولوجي مشابه لتأثير الأشعة السنية، وهي فيما يجاوز أصغر الكميات تعتبر شديدة الخطر على الصحة، وبهذا يتعين أن تدرع المفاعلات بدروع ثقيلة من الرصاص توقف أشعة جاما ومن الماء أو أية مادة أخرى تحتوى الهيدروجين لتوقف النيوترونات، ويتطلب هذا كميات كبيرة من الماء وسمكًا من الرصاص لا يقل عن قدمين إذا أريد أن يعمل الإنسان في أي جهة قريبة منها وليس هذا بقيد خطير لمحطة كبيرة للقوة. وهو ليس كذلك حتى بالنسبة إلى سفينة ولكنه يكون حجر عثرة في حالة سيارة أو طائرة.

و إذا كان لنا أن نتوقع فعلًا أن تمدنا الطاقة النووية بقوة رخيصة فإن من اليسير أن نغلو فيآثارها الاقتصادية، ولاسيما في البداية، فالقوة في صورة فحم كما هو الحال في الوقت الحاضر قل أن تكون أهم أبواب النفقات في أية عملية، والعمل على خفض أسعارها لن يكون له كبير أثر، ويمكن المفاضلة بين الطاقة النووية وبين القوة المائية التي تمدنا بها الطبيعة بغير مقابل، وذلك عدا نفقات الآلات التي تقدمها لنا، فالبلاد التي بها وفرة من القوة المائية لها دون شك بعض الميزة ولكنها ليست بالميزة الشديدة الغلبة.

ومع ذلك فكلما اتسع نطاق استخدام الطاقة النووية فإن إمكان الحصول على مقادير كبيرة رخيصة منها سيؤثر في اقتصاديات العالم، فلا يصبح من الضروري نقل كميات كبيرة من الفحم أو الزيت للأماكن البعيدة حتى يمكن أن تبدأ بها الصناعات. والواقع أن المقادير الكبيرة من القوى ستجعل في الإمكان تحقيق مشروعات تبدو الآن خارج نطاق التفكير الجدي كغمر الصحاري وأواسط أستراليا بالمياه، وكعمليات التعدين التيلا يمكن تنفيذها في الوقت الحاضر لأنها كثيرة النفقات من حيث القوة اللازمة لها، فالطاقة النووية اكتشاف بالغ الخطر بلا مراء ومن التسرع أن نحاول تحديد مدى ما يمكن استخدامها فيه كما كان كذلك لدى جيمس واط بالنسبة للبخار.

وعلاوة على الطاقة النووية المستمدة من اليورانيوم والثوريوم، هناك احتمال استطاعتنا تقليد الشمس في استنباط الطاقة عن طريق تكوين العناصر الخفيفة وبخاصة الهيليوم من الهيدروجين، وعند التنفيذ يكون الهيدروجين الثقيل هو الذي يستخدم لأن حمل ديوترنين على التفاعل أسهل بكثير من جمع أربعة بروتونات أوبروتونين ونيوترونين منفصلين وإلى الآن لم يحدث هذا إلا على صورة كارثة مروعة عى القنبلة الهيدروجينية التي فيها أمكن، باستخدام قنبلة عادية من اليورانيوم أو البلوتونيوم كمفرقع،تفجير لكتلة من الديوتيريوم (الهيدروجين الثقيل) لعلها مزجت بقدر مناسب من النظير فوق الثقيل تريتيوم. ومع ذلك يجب ألا نستبعد احتمال اكتشاف وسيلة إحداث هذا التفاعل تحت ظروف نتحكم فيها، وإذا كان الأمر ذلك فإن احتمالات تولد الطاقة

النووية ستزداد زيادة أخرى، ولن نضطر إلى استخراج اليورانيوم والثوريوم من خامات فقيرة فيهما بطريقة متعبة، كما أنه لن يكون هناك أي حد عملي لكمية المادة الخام التي تحت تصرفنا، فالبحر يحتوي على جزء من 7000 من الديوتيريوم، وعلى الرغم من أن عملية استخراجه شاقة ومعقدة إلى حد مافإنها أسهل بكثير من شطر اليورانيوم 235 من اليورانيوم 238، كما أن نتاج الطاقة من كل رطل سيكون أكثر أو أكبر.

أما في ميدان الحرب، فإن استخدام الطاقة النووية لسوء الحظ واضح تمام الوضوح،فكون القنبلة الواحدة تعادل حوالي عشرين ألف طن من مادة ث. ن. ث المتفجرة أمر يغير النظرة الاستراتيجية والفنية الحربية جميعًا، على أن هناك حدودًا معينة لذلك وستظل باقية إلى حين، فالقنابل «الذرية» باهظة التكاليف وسيمضي زمن طويل قبل أن يتسنى لدولة استخدامها إلا في الأهداف العامة، فالجيش في الميدان في الظروف الحديثة يكون متفرقًا تفرقًا بعيدًا، وقد يتبين أنه ليس بالهدف الذي يستحق أن تلقي عليه مثل هذه القنبلة. ولكن المرء يحار في معرفة الفائدة من جيش يدمر مدن الدولة التي كان المفروض أنه يحميها وهو عاجز عن تقديم أية مساعدة لها. وقد أفلح الإنجليز في الحرب الأخيرة في وقت غارات الألمان بقاذفات القنابل، وأفلحوا في ذلك بإحداث خسائر معتدلة النسبة تبلغ بين 5 – 10 في المائة، وهذا دفاع فعال لأن الهجمات لكي تصبح ذات أثر فعال يجب أن تتكرر ليلة بعد ليلة، وقوى المهاجمين تنهكها الخسائر الصغيرة المستمرة، أما مع القنابل «الذرية» فلا يحتاج

الحال إلا لقليل جدًا من الهجمات بحيث يكون من الممكن احتمال نسبة خسارة أعلى بكثر من السابقة.

وقد تبلغ الخسارة حدًا لا يستطيع أى دفاع مواجهته في المستقبل في أوروبا الغربية على الأقل، وهناك إمكان حمل المتفجرات النووية في رأس صاروخ من طراز (2V) . ويبدو أن حروب المستقبل ستسلط أساسًا على المدن وسكانها، ومن المحتمل أن يكون هناك إخلاء عام للمدن من جماهير السكان عند أول تهديد بالحرب، فإن حدث هذا قلّت نسبة الخسائر البشرية، ولكن خسارة كثير من الموارد ومن القوة الصناعية قد تشل الأمة حتى بعد انتهاء الحرب ويخشى أن تكون استعادتها لحالتها الأصلية بطيئة وغير محققة.

ولما كان خزن القنابل مستطاعًا بغير تحديد، ولكن صنعها بطيء فسيكون أهم ما ستتحارب به الأمم الرصيد المتجمع منها في وقت السلام، وسيكون من شأن ذلك أن يجعل الحروب قصيرة الأمد أو على الأقل شديدة العنف، لأنه لن يكون هناك محل للامتناع عن استعمال القنابل، فخير من ذلك المبادرة بهجوم قوي يهدف إلى هزيمة سريعة للعدو، أما في البحر فالقنابل «الذرية» كفيلة بالقضاء على أية سفينة يصح اعتبارها هدفًا جديرًا بأن تطلق عليه، وقد يحتفظ ببعض الحاملات لنقل قاذفات القنابل إلى نطاق الأهداف الشديدة البعد، وإذا كانت الحرب قصيرة فلن تكاد مشاكل نقل الإمدادات بالبحر تنشأ، أما إذا

طالت الحرب لأي سبب فإن السلاح الجديد قد يجعل السير في قوافل كبيرة شديد الخطر.

إن الزيادة في قدرة القنابل الذرية التي حدثت منذ استخدامها الأصليفي هيروشيما وناجازاكي، وظهور القنبلة الهيدروجينية الأقوى من الأولى بكثير، لا تغير من الموقف كثيرًا كما لعله كان متوقعًا. والقنبلة الكبيرة جدًا قليلة الكفاءة إذا ما راعينا القاعدة التقريبية التالية وهي أن القنبلة التي تطلق قدر التي تطلقها أخرى ألف مرة يكون نصف قطر دائرتها المدمرة قدر نظيرتها الأخرى عشر مرات فقط، ولذا تكون المساحة التي تدمرها قدر المساحة التي تدمرها الأخرى مائة مرة، وطاقة قنبلة اليورانيوم أو البلوتونيوم مقصورة على الطاقة التي يمكن إطلاقها من كمية من المادة لا تزيد كثيرًا على الكمية الحرجة، أما الزيادة في الطاقة التي سجلت لهذا النوع من القنابل فتحتم أن يكون مردها إلى تحسين الكفاءة بإطلاق نسبة أكبر من الطاقة التيفي المتناول.

أما بالنسبة للقنبلة الهيدروجينية فليس هناك حد ظاهر لمقدار المادة التي يمكن إطلاقها أكثر مما يوجد في حالة انفجار الديناميت، وإذا كان هناك حد أعلى غير الذي تفرضه صعوبات إمدادنا بالمواد اللازمة فلا بد أن يكون حدًا كبيرًا جدًا، فالهدف الوحيد الجدير بالقنبلة الهيدروجينية يكون إذن إحدى المدن الكبرى، ومن غير المحتمل استخدامها ضد الأهداف التي تلي ذلك فيالأهمية كمصانع الذخيرة، فالقنبلة القديمة كافية تمامًا لهذا الغرض، ولا شك في أن القنبلة الهيدروجينية تجعل تخريب

المدن الكبيرة أسهل وإخلاءها عند التهديد بالحرب ألزم، ولكن ربما كانت أهميتها العظمى نفسية أكثر منها فعلية لأنها توقر في نفس كل إنسان إحساسًا قويًا بفداحة الدمار والخسارة في الأرواح، كما هو الراجح الذي لا مناص من أن ينجم عن أية حرب حتى بالنسبة للمنتصر، ولعلها بذلك تكون قوة حقيقية في جانب السلام.

بعد القنبلة الذرية الأولى بذلت جهود جدية جدًا إلى نظام دولي للتحكم والهيمنة، فاقترحت الولايات المتحدة، تعضدها معظم أمم الغرب، إقامة سلطة دولية تهيمن على كل مؤسسة تتصل بالطاقة الذرية، بل لعلها تتسلم هذه المؤسسات وتتملكها، ولكن الجهود التي بذلت للوصول إلى اتفاق بهذا الشأن قد باءت بالفشل، والصعوبات التي تعترض مثل هذه الهيمنة الفنية والإدراية معًاهيفي الواقع صعوبات هائلة، ولكن هناك نقطة معينة تبعث على الرضا والاطمئنان، فاليورانيوم وما يمكن أن يحل محله وهو الثوريوم فلزان نادران، ولذا فالرقابة على المادة ممكنة من الناحية الفنية والمصنع اللازم لفصل المادة التي تحتاج إليها القنبلة الذرية كبير الحجم باهظ التكليف، وليس من السهل إخفاؤه، وذلك باستثناء احتمال إمكان إجراء الفصل بطريقة كهربائية مغنطيسية في وحدات صغيرة مقابل بعض النقص في الكفاية. ومع ان البلوتونيوم (صانع القنابل)نتج لسوء الحظ من الاستخدام الصناعي للطاقة النووية ،إلا أن مثل هذه المصانع من المتوقع أن تكون كبيرة وغير متعددة بحيث يتسنى التفتيش الكافي عليها إذ كان ما يتضمنه ذلك من الاعتداء على

حرمة سيادة الدولة مقبوًلا، ومع ذلك يبدو أن أي نظام للمراقبة كهذا لا يحتمل أن يوضع أو أن يؤخذ به.

واليوم بعد أن زاد الرصيد من القنابل ومن المواد التي تصنع منها فإن الآمال الأصلية،التي كانت ترجى منع أي منها من الوصول إلى أيدٍ غير مرخص لها، يجب التخلي عنها والواقع أن أي اتفاق يعقد في المستقبل لا يخلو ممن احتمال إخفاء روسيا وأمريكا على الأقل، بل ربما بريطانيا، لما لديها من مواد، وقد لا يستلزم هذا جعل الاتفاق عديم الجدوى، فإذا كانت الدول سيسمح لها باختزان قدر معين من مواد القنابل فإن وجود بعض من هذه عند بعض الدول بغير وجه حق لن يميزها بدرجة ساحقة، وأن مجرد حظر القنابل دون التحكم في موادها إجراء لا معنى له، فما دامت طرق إحداث التفجير قد اكتشفت والتفاصيل الميكانيكية قد حسبت، وهو ماتم في ثلاث دول في الوقت الحاضر، فسيكون إنتاج القنبلة الذرية من السهولة بمكان إذا توافرت مواد تعبئتها، وإذا حدثت حرب فمن الصعب أن نعتقد أن توقيع اتفاق دولي سيفوق أثره أي اعتبارات إنسانية إذا كان في مصلحة الدول ما إن تستخدم تلك القنابل.

وإذا جاز لنا أن نقيس هذه الحال بما نعلمه من أن الغاز السام لم يستخدم في الحرب الثانية فالمقارنة خداعة،ففي المراحل الأولى للحرب حين كان من المحتمل أن يكون استخدامه في مصلحة ألمانيا كانت الولايات المتحدة محايدًا قويًا ليس من الحكمة الإساءة إليه أو إثارته، أما

فيما بعد، حين كان استخدامه يعود على ألمانيا بالكسب في حملة نورماندي، فكانت قاذافات القنابل لديها أضعف من أن تقوم بهذا العمل بصورة فعالة ومنتجة، ولما كانت قد أخرجت من حسابها مد المدنين عندها بالكمامات الواقية فلم تكنلتخاطر بهم إذا تبع إغارتها على العدو حملة انتقامية من نفس النوع.

إن أي اتفاق للتحكم والهيمنة يتوقف على قدر معقول من حسن النية، فإذا وجد هذا فقد يساعد الاتفاق على تطمين الأمم ومنع زيادة الشبهات، ولكن بدون حسن النية من بادئ الأمر تكون محاولة الاتفاق عديمة الجدوى بل إن هذه المحاولة لن تكون إلا سببًا إضافيًا لخلق النزاع.

الفصل السابع عشر

بعض المشاكل الهامة للنواة

في هذا الفصل سنحاول الإشارة إلى المسائل التي تتحدى في الوقت الحاضر أذهان العلماء الفيزيقيا المهتمين بالبنية النهائية للمادة.

وأقدم هذه المسائل هي مشكلة أشعة بيتا وهذه كما نتذكر هي إلكترونات تبعث من طبيعة المواد المشعة بطبيعتها، ولكن اللفظ يمتد ليشمل الإلكترونات والبوزترونات المنبعثة من أي واحد من العدد الكبير من النظائر المشعة المعروفة الآن التي تحضر صناعيًا، والمشكلة الأصلية أخذت الصورة الآتية: من المعروف أن أشعة بيتا تنبعث بمدى واسع من الطاقة يصل إلى حد أعلى محدد تحديدًا دقيقًا ومع ذلك فكل ذرة تبعث إلكترونًا واحدًا فحسب.

وإذن فإذا كانت جميع ذرات العنصر الواحد لها كتلة واحدة وتبعًا لذلك تكون طاقتها في البداية واحدة فبعد التفتت تكون لها طاقات مختلفة وتختلف معها كتلتها كذلك، واختلاف الطاقة لا يكاد يقصر عن التأثير في معدل نشاطها الإشعاعي عندما تتفتت بدروها كما يحدث لأكثرها، ومع هذا فإنها تسلك مسلكها المعتاد تمامًا كما أنه لم تلاحظ بها أيها تغيرات في الكتل.

وقد يظن أن بعض أشعة بيتا فقدت طاقة في أثناء هروها، ولكن مقاييس الحرارة الكلية الناتجة عن باعثات بيتا تدل على أن الطاقة الكلية الممتصةفي سمك معتدل من فلز هي ما يتوقع فعلًا من أشعة بيتا التي نرصدها ولا شيء أزيد من ذلك، وهناك سبب وجيه يحملنا على أن نتصور أن الطاقة التي تفقد من الذرة الواحدة هي طاقة أشعة بيتا ذات الحد الأعلى من الطاقة.

ولتيسير ذلك قد أوجد فرمي رأيًا يقول بأن هناك في عددمن الإلكترونات المرئية –أي المرئية في خزانة ولسن – جسيمًا آخر لا يكاد يبين أو هو غير قابل تمامًا لأن يتبين ويسميه النيوترينو، والمفروض أن مجموع طاقتي الإلكترون والنيوترينو يكون ثابتًا أو بعبارة أخرى يأخذ النيوترينو ما يتبقى من طاقة بعد أن يأخذ الإلكترون كفايته، فإذا وصل الإلكترون إلى النهاية العظمى للطاقة لم يترك للنيوترينو شيئًا من الطاقة. وليس للنيوترينو شحنة، وهو إما أنه قليل التأثير على الجسيمات الأخرى أو عديم التاثيربالمرة ولهذا يكاد يكون غير قابل لأن يتبين، وكتلته محل جدل ولكن المحقق أنها صغيرة.

وهذا التفسير يعتبر من وجهة ما مجرد فكرة للإبقاء على نظرية بقاء المادة وتخطيط موقفها، ذلك لأن الطاقة المقررة لنيوترينو تخفى على الملاحظة وقد لا يكون لها وجود أصلًا، وقد تعلم علماء الفيزيقيا أن ينظروا بارتياب إلى وضع فردي يصر دائمًا على الإفلات من المشاهدة ولكن لما لم يظهر ما هو أفضل منه فقد بقي النيوترينو فردًا محترمًا لمدة

تقرب من عشرين سنة، وهي حياة طويلة إذا نظرنا إلى السيل المتدفق من نظريات علم الفيزيقيا الحديثة ، وقد ينتهي بها الحال إلى تبرير نفسها بأن تلاحَظ فعلًا أو قد تظهِر بعض تقلبات الرأي أنه لا ضرورة لها وإن كان من الصعب لنا الآن أن نرى كيف يكون هذا، وكما سيتضح لنا سوف نرى هذا النيوترينو يعاود الظهور في بعض المناسبات الأخرى.

والمسألة الثانية في صميم الأساس، وهي ماذا يمسك النواة بعضها بعض؟فبروتونات النواة لأنها كلها موجبة الشحنة يتنافر كل منها مع الآخر، ولابد من قوة أكبر للتغلب على ذلك وجعلها في حالة استقرار، وقد وضعت لذلك عدة نظريات، والنظرية السائدة الآن يرجع الفضل فيها إلى عالم الفيزيقيا الياباني يوكاوا. وهناك عدة صور مختلفة لهذه النظرية وكلها رياضية إلى درجة عالية ولكن ما سنورده هنا قد يعطى فكرة عامة عما ينطوي تحتها.

فالنيوترونات والبروتونات تتماسك معًا«بقوة تبادل» شبيهة بالتيلجأنا إليها لتفسير التكافؤ المتجانس القطبية، ولكن بدلًا من تبادل الإلكترونات يكون ما يتبادل بين النيوترون والبروتون نوعًا ما من الشحنة المجردة أي «مجال» مشحون هو ما يسمى المجال الميزوني، وهذا المجال يشبه في كثير من الاعتبارات المجال الكهربي المغناطيسيالذي بين الإلكترون وبين سائر الذرة التي يكون جزءًا منها، فكما أنه إذا أزيح الإلكترون يستطيع المجال أن يشع كمات من الطاقة، فكذلك إذا حدث اضطراب في النواة فإن المجال الميزوني يشع، ولكن نظرًا لأنه مشحون فما

يشعه يكون مشحونًا أيضًا على غير الحال في كمات الضوء، وربما كانت شحنته مساوية للشحنة الواقعة على الإلكترون ما دام يبدو أن هذه هي الوحدة العالمية. وتبدو هذه النظرية خيالية جدًا، ولعلها لم تكن لتخطو كثيرًا إلى الأمام لو لم يتبين بعد ذلك توًا وجود شيء في الأشعة الكونية بهذا الإشعاع الذي تنبئ به.

ولقد رأينا أن الأشعة الكونية تحتويعلى إلكترونات وبوزترونات عالية الطاقة من الأمور المألوفة أن تصل إلى آلاف الملايين من الفولت، وهي تحتويكذلك على أشعة جاما بطاقة مماثلة، ومعظم التأثير يرجع إلى جسيمات مشحونة تنتجها أشعة جاما بعملية « التجسيد المادي» وهذه بدورها تنتج زيادة من أشعة جاما ولكنها أشعة ذات طاقة ضعيفة قريبة جدًا من طاقة الأشعة السينية التي تنتج عن الإلكترونات عندما تضرب الهدف في أنبوبة الأشعة السينية، وتسمى العملية عملية « التسلسل أو التعاقب المتضاعف»، وهي تفسر معظم التأثيرات التي تشاهد في خزانات التأين في الارتفاعات العليا للهواء، كما أنها تفسر إلى حد كبير ما يشاهد منها عند سطح البحر .

ولكن التجارب التي أجريت في أعماق البحيرات والمناجم دلت على وجود ما يسمى «المركبة» النفاذة علاوة على ذلك، ومع أن هذه المركبة تقل بالفعل كلما تعمقنا فإنها تقل ببطء أشد كثيرًا من الرشاش الطبيعي الناتج في عملية التسلسل أو التعاقب المتضاعف، وقد بذلت

محاولات كثيرة لتفسيرذلك بمدلولات الكمات أو الجسيمات المعروفة ولكن لم تكن أي محاولة من هذه مقنعة.

قد وجدت بعد ذلك دلائل فيخزانات ولسن على وجود جسيمات متوسطة في الكتلة بين الإلكترونات والبروتونات تبلغ كتلتها في الواقع ما بين 160، 200 من المرات قدر كتلة الإلكترون وهذه الكتلة تقع قريبًا مما تنبأت به نظرية يوكاوا للجسيمات المنبعثة من المجال الميزوني، وقد أطلق عليها اسم ميزوترونات أو ميزونات، وقد نشأت في الغالب عن اصطدام بروتونات سريعة بنوى الذرة فيارتفاعات عالية في الجو، ومثل هذا الأساس يتفق اتفاقًا حسنًا مع شواهد أخرى عن طبيعة الأشعة الكونية الأولى.

وقد ازدات هذه النظرية قوة بعدة اكتشافات جاءت بعد ذلك، وتشير النظرية إلى أن الميزونات ليست خالدة ولكنها تفنى من تلقاء نفسها وتتحول إلى إلكترون ونيوترينو في وقت يقرب من جزء من مليون جزء من الثانية،وقد وجد تثير شديد الغرابة متصل بالأشعة الكونية النفاذة، فامتصاص الجو لها يتوقف على ما إذا كانت الأشعة تأتي رأسية أو مائلة وهذا يكون بعد حساب ما يترتب على اختراق هذا الشعاع المائل بمقدار أكثر من كتلة الهواء، ولما كان أي امتصاص إنما يحدث بتصادم مع ذرات فردية فقد كان من الصعب أن نرى كيف يمكن أن يدخل في الحساب شيء آخر غير الكتلة الكلية، على أنها منذ تكوينها تكون مستقلة تمام الاستقلال عن الهواء الذي تخللته، وقد كان بلاكيت أول من

بين هذا فقوى به النظرية الميزونية كثيرًا، وأخيرًا تمكن وليامز من الحصول على مسير في خزانة ولسن يبدو أنه يظهر فناء ميزون أو على الأصح تحوله إلى شيء أخف قد يكون إلكترونًا، وقد تأيدت هذه النتيجة على نطاق واسع.

ومما يؤسف له أننا كلما ازدادنا معرفة بهذه الميزونات خابت الآمال الأولى التي علقت عليها، فجسيمات يوكاوا يجب أن تتفاعل توًا وبسهولة مع النوى لأنها وثيقة الصلة بالقوى التزية، وميزونات أندرسون وبلاكيت لا تفعل ذلك، إنها نفاذة بدرجة عالية، وقد وجد علاوة على هذا أنها حين تحمل الوقوف في المادة لم تبد إلا ميلًا طفيفًا للدخول في النواة. والميزونات سالبة وموجبة، و هذا هو ما نتوقع حدوثه للميزونات موجبة الشحنة التي تتنافر بطبيعة الحال مع النوى، و لكن ما بال الميزونات سالبة الشحنة، هذه يجب أن تجذب وتتخذ لها فلكًا شبيهًا بفلك الإلكترون ولكن أكثر قربًا من النواة، بحيث تكاد تكون داخلها، ومع هذا لو كانت النواة خفيفة فإن هذه الميزونات تعمر ذلك الوقت الهائل نسبيًا وهو $\frac{1}{2000000}$ من الثانية وتموت موتة طبيعية تمامًا كما كان يحدث لها لو لم تكن النواة موجودة.

فالمعرفة الزائدة عن الحد قد أفسدت تلك النظرية الجميلة كما حدث مرارًافي علم الفيزيقيا، ولكن لعلها لم تفسد نهائيًا، ذلك أنه في السنوات التي أعقبت الحرب اكتشف عدد من الجسيمات الأخرى التي شاركت هذه في اسم الميزون، وهي تتميز عن بعضها البعض بحروف

يونانية، فأول واحد اكتشف منها سماه مكتشفه (الأستاذ باول) الميزون (باى)، بينما الميزون الأقدم لأندرسون سمى (ميو)، وقد وجد باول ميزونه، كما فعل أندرسون،في الأشعة الكونية، وذلك باستخدام الوسيلة الفنية التي تعتمد على اللوح الفوتوغرافي المشروحة في نهاية الفصل الخامس عشر.

وميزونات باى هذه التي توجد بالشحنتين السالبة والموجبة لها كتلة قدر كتلة الإلكترون نحو **276** مرة، وهي تتلاشى تلقائيًا بسرعة قدر سرعة تلاشي الميزون (ميو) نحو **100** مرة، وكل منها يولد ميزون (ميو) ونيوترينو. وقد فحص تحلل ميزونات ميو بتعمق، ويبدو أنه لا بد من تكون ثلاثة جسيمات أحدها الإلكترون الذي تعرف عليه وليامز والآخران لا يريان، ولعلهما نيوترينوان، وإذا تعجب القارئ وتساءل كيف يمكن التمييز بين جسيم وجسيم لم يرهما ولم يتعرف عليهما أحد أبدًا؟ فالجواب على هذا أنه لو أن شيئًا كميزون ميو ينشطر إلى شيئين آخرين، إلى شيئين فقط فلابد يرتد إلى الوراء بسرعة محددة كما يتراجع المدفع بعد أن يطلق قذيفة مفردة،ولكن وجد أن الإلكترون في الواقع يتخذ سرعة متغيرة، والتفسير الوحيد لذلك هو أنهناك جسمين آخرين ينطلقان بعيدًافي اتجاهين مختلفين ويحملان قدرين مختلفين من الطاقة ومن كمية التحرك.

ومنذ اكتشاف باول الأصلي اكتُشفت عدة جسيمات أخرى معظمها باستخدام اللوح الفوتوغرافي أو خزانة ولسون ولا يزال غيرها

في سبيل الاكتشاف. ومن الصعب أن نعرف مدى ما يصح أن يقال عن هذه الجسيمات؛ ولكني سأذكر قليلًا من خير ما تأيد منها وصار موثوقًا بصحته، فهناك جسيم يسمى ميزون باى المتعادل وكتلته قدر الإلكترون 266 مرة وهو ينحل إلى كمتين اثنتين من أشعة جاما قصيرة الأجل جدًا، ثم ينتج كل منهما أزواجًا من الإلكترونات، وهذه هيالتي ترصد عادة، فكأنما نحن نستبق أحد الأجداد برصد ظاهرة معينة، وهذا الميزون بالذات ينفرد عن الأخرى بأنه اكتشف في المعمل لا في الأشعة الكونية، فالمعجلات العظيمة للجسيمات في بيركلي بكالفوريا وفي شيكاغو وفي بروكهافن بلونج آيلاند قادرة على توليد ميزونات (باى) صناعيًا، فهي تتكون عندما تقذف النواة ببروتون أو أي جسم مشحون تكون طاقته كافية، وإن لم يتحتم أن يتولد عن كل واحد من هذه التصادمات ميزونًا. وهناك جسيم آخر قد رسخت قدمه هو ميزون (طو)الذي ظهر أول مثال له في برستل وتبعه آخر في الكلية الملكية بلندن، ووزنه قدر وزن الإلكترون 970 مرة تقريبًا وينحل إلى ثلاث ميزونات باى، اثنان من نوع واحد وواحد من النوع الآخر، وعمره غير معروف بالدقة ولكنه أقل من عمر الباى.

وقد اكتُشفت جسيمات متعادلة في الخزانة السحابية والجسم المتعادل بطبيعة الحال غير مرئي بنفسه ولكنه يبلى ويولد جسمين مشحونين يكونان عادة حرف 7 طرفاه إلى فوق وإلى هذا يرجع تسميته الجسيمات في أول الأمر جسيمات 7 أو جسيمات 7صفر للدلاله على أنها خالية من الشحنة وواضح إلى حد كبير أنه يوجد أكثر من نوع

واحد من هذه الجسيمات وأن أحدها، وهو المعروف الآن بالحرف اليوناني (ثيت) له وزنه يقرب جدًا من وزن ميزون (طو) و لكنه ينحل إلى اثنين من الجسيم (باى). وهناك جسيم آخر من جسيمات 7 هو (لامضا صفر) الذي له وزن أكبر من وزن البروتون لأنه ينحل إلى بروتون و(ميزون باى). ويوجد بكل تأكيد جسيم آخر على الأقل مشحون وله وزن قريب من وزن (طو) و ثيتا و لكنه ينحل بكيفية أخرى، وقد يكون هناك جسيمان آخران أو لعلها ثلاثة. وبعض هذه الجسيمات يمكن تفسيرها بافتراض أن الجسيم الواحد يمكن أن ينحل بأكثر من طريقة واحدة، فمثلًا إذا كان جسيم (طو) يستطيع على التبادل أن ينحل إلى ميزون (ميو) أو نيوترينو أو جاما فإن ذلك يفسر أحد الجسيمات التي لو لوحظت، ولن يكون هذا بالجديد علينا لأن أمثلة من بين المواد المشعة الموجودة في الطبيعة عرفت بأنها تنحل بطريقتين مختلفتين يكون اختيار النواة لواحدة منها بالذات موكولًا إلى الصدفة وحدها، وهناك جسيم مشحون واحد على الأقل له وزن أكثر من وزن البروتون، ولكن إلى الآن لم تظهر أدلة على وجود بروتونات سالبة؛ وإن كان كان البحث عنها قد جرى بدقة ودأب[1].

وقد جرى العرف على أن الإشارة إلى هذه الجسيمات بأنها «جسيمات أساسية»، ولكن مؤلف هذا الكتاب يرى أن هذا خلط وسوء تسمية،فهذه الأجسام ذات كيان جديد فلا هي جزيئية ولا هي

[1] ثبت وجود البروتون السالب عام 1957 باستخدام سنكر سيكلوتون جامعة بيركلي في كاليفورنيا (المترجم).

ذرية وليست شبيهة بالإلكترون ولا بالبروتون،فنستطيع البقاء إلى ما لا نهاية، فالنيوترون قد عرف الآن حقًا أنه يتحلل في القضاء الطلق إلى إلكترون وبروتون ولكنه على ما يظهر ثابت في النواة، أما هذه الأجسام الجديدة فلا تستطيع أن توجد في النواة على هذه الصورة، وذلك لأنها من الثقل بحيث لو فعلت ذلك لما كانت الأوزان النووية أعدادًا صحيحة تقريبًا، ولعله يجب اعتبارها حالات مستثارة للإلكترونات أو البروتونات تؤدي فيها الطاقة المزيدة إلى زيادة كبيرة في الوزن.

و كلها على حد ما عرف للآن تنتهي إلى إلكترونات أو بروتونات، ولكن لا يزال من الغوامض المحيرة لماذا توجد هذه الجسيمات بالذات لا غيرها، أو بعبارة أخرى بما أنه من المحتمل جدًا وجود جسيمات غيرها فلماذا توجد هذه الجسيمات بالذات بأعداد أكثر وأوفر. ميزون باى يحقق مطالب نظرية يوكاوا إلى حد ما ولكن بساطة الصورة يفسدها وجود كل الجسيمات الأخرى، ولعل الأمر يرجع إلى أن صلة الباى بالقوى النووية ليست صلة مباشرة تمامًا كما كان يأمل الإنسان بل أقل.

والموقف الحالي موقف انتقالي، فالبساطة القديمة التي كانت تغشى الإلكترون والبروتون في الوقت الذي كتبت فيه الطبعة الأولى لهذا الكتاب قد زالت، ولو أن هذين لا يزالان الجسيمين الدائمين المعروفين، ولدينا الآن هذا الحشد العظيم المعقد من الكيانات التي تظهر بشكل واضح في أساس تكوين هذا العالم الفيزيقي ولكنها على ما يبدو لا

تساعدنا كثيرًافي تفسيره، فنحن بحاجة إلى فكرة جديدة تجعل هذه القطع الجديدة تستقر في مكانها الطبيعيفي هذه اللعبة المحيرة.

وواضح أن الإنسان يجب أن يصل إلى الحقائق كلها، أو إلى أكثر ما يمكن منها، ومن هنا تأتي أهمية الأشعة الكونية في هذه الأيام، وكذلك أهمية مولدات الجسيمات ذات الطاقة العالية إلى أقصى حد.

وحين نصل إلى الفكرة المطلوبة فمن المحتمل جدًا أنها قد تتطلب إعادة صياغة الآراء والأفكار الأساسية (التي لدينا) من جديد والتخلي عن بعض ما نأخذه الآن قضية مسلمة بها، وهذه الاحتمالات هيالتي تجعل من علم الفيزيقيا علمًا يلذ للمرء ويستهويه.

الفصل الثامن عشر

نتائج عامة

رأينا فيما تقدم من هذه الكتاب كيف أن فكرة التقسيم
إلى وحدات تكاد تظهر في كل فرع من فروع الفيزيقيا
والكيمياء، فهناك وحدات للمادة والكهرباء والطاقة،

والتطورات التي تمت في الجيل الحاضر جعلت هذه الفكرة تبدو بجلاء يزداد يومًا بعد يوم أنها أساسية في الكون، وبعض قوانين الفيزيقيا التي كانت تعتبر فيما مضى أعظم القوانين أهمية كالجاذبية أصبحت ترى في ضوء النسبية على أنها حقائق بديهية، فلا بد أن تكون على ما نجدها عليه في أي عالم يمكن أن نتصوره تقريبًا.

ولكن الحال يبدو غير ذلك في القوانين الذرية، وليس هناك سبب ظاهر يعلل به لماذا بنيت الدنيا على هذه الصورة، وعندما يصل بنا العلم إلى معرفة ذلك يكون قد بلغ منتهاه. و لا يقتصر الحال على أن وجود وحدات صغيرة متساوية أمر هام متى أمكن بالفعل عزلها، بل إن وجودها تفسيرًا لطائفة كبيرة أخرى من القوانين تشمل عددًا كبيرًا من التي لها أكبر أهمية علمية، وهذه القوانين هي ما تسمى القوانين «الإحصائية»، وتتوقف صحتها على الحقيقة العجيبة القائلة بأن أعظم صور الفوضى

والاضطراب والشذوذ تتخذ لنفسها بحكم شذوذها واضطرابها هذا نظامًا خاصًا بها.

ولنأخذ مثلًا لذلك التأمين على الحياة، فقد عرف مما سبق من مشاهدات كم من الناس في كل بلد يموت كل عام في مختلف الأعمار، فإذا أخذ عشرة آلاف شخص بوليصات تأمين على الحياة من شركة معينة فإن الشركة تستطيع أن تحسب من هذه المشاهدات كم منهم يموت في مختلف الأعمار بشرط أن يكون الناس (أو العينة) نموذجًا عشوائيًا صحيحًا لمجموع السكان، والسبب في أن الحساب يجيء دائمًا متفقًا اتفاقًا كبيرًا مع الواقع هو أن العينة كانت عشوائية فلو أنها اختيرت اختيارًا خاصًا على أي وجه لوجب تبديل النتائج ولاحتاج الأمر إلى بيانات جديدة قبل أن يكون في الاستطاعة عمل تنبؤ دقيق. أي أن الاختيار بالصدفة ينتج قانونًا يفسد لو أن الاختيار كان على أساس انتخابي معقول بدلًا من أن يكون عشوائيًا.

وكذلك الحال بالنسبة للجزيئات غاز في وعاء، فهي تتحرك هائمة على غير هدى في كل الاتجاهات يتصادم بعضها مع بعض ويغير بعضها سرعة بعض، وهذه السرعات مقياس لدرجة الحرارة بالرغم من كونها غير متساوية ودائمة التغير في حين أن درجةالحرارة إنما تمثل فقط متوسط التأثيرات، فلو أن جانبًا من الغاز أبعد فإن توزيع السرعات الجزيئية توزيعًا عشوائيًا يحفظ للعينة المبعدة نسبتها المعقولة من الجزيئات السريعة والبطيئة ويكون المتوسط مناظرًا لنفس درجة الحرارة التي للكل، وهكذا

متى بقيت مثل هذه المجموعة من الجزيئات مدة كافية في الوعاء تصل فيها إلى حالة شاملة من الفوضى، فإن من المستحيل بمجرد تقسيمها أن تصل إلى جزئين يختلفان في درجة حرارتهما وهذه حالة بسيطة واحدة من القاعدة البالغة الأهمية المعروفة بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية.

وكل القوانين التي من هذا النوع تتضمن بالضرورة عددًا كبيرًا من الوحدات، فشركة التأمين التي تقوم على تأمين ست أشخاص فقط تكون مؤسسة شديدة المجازفة، فكما أنه من النادر أن نجد أشياءً أرباحها أضمن وآكد من من أرباح التأمين على نطاق واسع، فكذلك من النادر أن نجد ما هو أضمن وآكد من حياة الفرد منا. وضمان كثير من قوانين الطبيعة يقوم على الأعداد الهائلة من الوحدات التي تشتمل عليها حتى أصغر الأجسام في الحياة العادية، وعلى هذا فإن كثيرًا من قوانين الطبيعة التي لا يرد فيها أى ذكر للذرات فيما تقرره تصدق فقط لأن الذرات في الواقع صغيرة وبالتالى فهي كثيرة العدد.

وإحدى خصائص هذه القوانين الإحصائية أن الظواهر التي تصفها وإن كانت تتوقف على قوانين معينة إلا أن طبيعة هذه القوانين لا يكون لها شأن فيها، فمثلًا في حالة المثل الذي تناولناه يتوقف تبادل السرعة بين أى جزيئين إلى حد كبير على طبيعة القوى بينهما، ولكن أيًا كانت هذه القوى فإن التوزيع الإحصائي للسرعات سيكون هو هو في النهاية. وأهمية القوانين التي من هذا النوع لا يمكن أن يبالغ فيها بحال، ولكنها ترجع تمامًا إلى الفطرة الموحدة للكون ولا تبدو حقيقة لكائن ما خلق على

مقياس شديد الصغر بحيث يستطيع مراقبة حركة الجزيئات الفردية، ولعل هذه الحقيقة نفسها هي السر في أن وجود مثل هذا المخلوق مستحيل.

على أنه برغم أهمية الوحدات وما تؤدي إليه بالضرورة من رؤية العالم في صورة غير متصلة، فإن هناك جانبًاآخر للمسألة، فقد رأينا كيف أنه وجد من الضروري ربط الأمواج لا بالكمات الضوئية وحدها بل بالإلكترونات كذلك، وربما بكل الجسيمات،والأمواج في أساسها تقتضي الاستمرار فهي تتضمن انتشارًا مستمرًا لشيء ما حتى ولو كان هذا الشيء مجرد احتمال.وجهود القرن التاسع عشر للانتهاء بكل شيء إلى خصائص لوسط متصل، وجهود القرن العشرين في تفسير ذلك بالجسيمات وحدها يبدو أنها جميعًا قد تساوت في الإخفاق، ومهما كان الرأى بغيضًافواضح أننا مضطرون لتقبل الأمرين على قدم المساواة فكلاهما موجود في صورة ما ولن يستسلم أحدهما للآخر، ولا تزال العلاقة بينهما أمرًا بالغ العسر، ولم يسن إلى اليوم الوصول لحل كامل. وفي أية حالة يمكن اختبارها بالتجربة الفعلية يندر أن يقوم شك في كيفية استخدام الفكرتين، وإنا لنأمل أن يصير في الإمكان أن نراهما نصفين متكاملين لحقيقة واحدة.

وعندما نفكر في عالم يتركب من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات وكمات إشعاع نشعر بتبسيط هو أهم عزاء جميل عن الصعوبة التيفي طبيعة الآراء التي لا مناص من إيرادها لتفسير سلوك تلك الجسيمات، فهذه الأشياء الأربعة مضافة إلى بضع قواعد تحل محل التنوع

الواسع للعالم كما نراه، وحتى التعقيدات التي أضيفت وأشرنا إليها في الفصل السابق، مع أنها ترجح بقوة أننا لم نصل بعد إلى النهاية الختامية، فإنها لا تنال من عظمة ما وصل إليه وحققه علم الفيزيقيا الذرية، ولكن تبقى بعد ذلك خاصيتان اعتباطيتان: الأولى هي الفرق في الكتلة بين الإلكترون والبروتون وقد لا تبد هذه الخاصية لأول وهلة من المعالم الضرورية للنظام وحتى إن كانت كذلك فمن العجيب جدًا أن نكون إحدى الكتلتين قدر الأخرى حوالي **1844** مرة، فهذا رقم يدعو للغرابة في اختيار الطبيعة له، فلو أنه كان **3** أو **4** أو ط لبدا طبيعيًا أكثر من ذلك.

وقد حاول إدنجتون تفسير ذلك كما حاول تفسير الخاصية الاعتباطية الثانية التي لا تختلف عن الأولى في طبيعتها، وهي: أنه بالجمع بين الشحنة الواقعة على الإلكترون وسرعة الضوء ع وثابت بلانك **h** يمكن اشتقاق كمية مركبة[1] تكون عددًا حقيقيًا، وهو على خلاف قيم الكميات المنفصلة المكونة له لا يتوقف على الوحدات المستخدمة لقياسها ما دامت هذه الوحدات بطبيعة الحال واحدة للكميات الثلاث جميعًا، فمثلًا بينما تكون سرعة الضوء **186000** إذا قيست بالأميال في الثانية و**300000**بالكيلومترات في الثانية فإن هذه الكمية تكون **137** وكسرًا في كل الحالات فهي بهذا لها معنى طبيعي حقيقي مثل الــ**1844** التي كنا نتكلم عنها.

---

(1) $\frac{h\text{ع}}{2\text{ط}^{2}\text{س}}$

وحجة إدنجتون مبنية على فكرة أن الشحنة هي مقياس التنافر الإلكتروستاتيكي بين إلكترونين،في حين أن **h** طبقًا لقاعدة التجنيب لباوليهي مقياس حجم أو قدر

الخلية التي يسمح لها فقط باحتواء إلكترون واحد، وهي بذلك تعبر بصورة ما عن نزعة الإلكترونات للبقاء متباعدة، فإذا كانت هذه تمثل تعبيرات عن حقيقة طبيعية واحدة فلا بد أن تكون هناك علاقة بين الأعداد لتى تمثلها. وقد أمكنه بشيء من التحليل الرياضي البالغ العمق والغموض أن يختصر العلاقة إلى علاقة هندسية تتضمن عد مجموعة خاصة من النقط، وهناك **136** من هذه النقط، ويبدو أن المسموح به أن تزداد واحدة للمجموعة بصفة عامة، أما تفسير العدد **1837** فمبني على اعتبارات تتضمن الخواص النسبية للفضاء وقدر الكون، ولكن الحجج شديدة الغموض والعمق.

وقد بدأنا الفصل الأول بافتراض مادة خام أو مادة الفطرة السوية، وخلال الكتاب لا بد أن يكون القارئ قد أدرك أن المادة البديهية ليست بحال مادة مسلمًا بها بسهولة، فقد ذابت صلابتها على ما يبدو في دوامة من الإلكترونات والبروتونات، وحتى كتلتها ليست بالأمر الثابت فقد تفقد بعضها عندما تشع طاقة، وليست وحدها بالشيء ذي الكتلة لأن الكتلة من خواص كل صور الطاقة، وبصفة خاصة الضوء (المرئي منه وغير المرئي) الذي يختلف في نواحٍ أو اعتبارات أخرى اختلافًا

بعيدًا عن المادة. وأهم خواصها الدائمة هي عدد الإلكترونات ومقدار شحنتها وعدد البروتونات التي تتركب منها.

ولكننا رأينا أنه في بعض الظروف الشاذة قد تأخذ أزواج من الإلكترونات والبوزترونات صورة مادية؛ ومعنى هذا طبقًا لوجهة نظر ديراك أن إلكترونًا يمكن أن يستدعي من حالة غيبوبة (حالة الطاقة السالبة) ليكون جزءًا من مادة محسوسة أو ملموسة أو قد يختفي ويعود لحالته السابقة، فإذا كان رأي جينز وغيره صحيحًا، فلا بد أن تكون هناك تغيرات أعنف تحدث في النجوم، فالنوى وهي تحتوى الجزء الكبير من كتلة أي قطعة من المادة تشغل جزءًا صغيرًا يكاد يهمل من حيث الحجم، ففي جسم الإنسان تكون مجموع أحجام ما فيه من نوى هباءة لا تكاد ترى، أما الباقي فتشغله الإلكترونات المحيطة بالنوى.

ومع أن النظريات الأحدث تابى أن تعين حجمًا معينًا تمامًا لهذه الإلكترونات فمن المحقق أنها لا تملأ هذا الفراغ كله بأى معنى عادي، لأنه من الممكن أن نصوب إلكترونات خلالها من غير إحداث اضطراب دائم، وإن كان من الجائز أن يحدث مثل ذلك، وهكذا يكون الرأيالذي عبر منه أنصار النظرية الفلكية القائل بأن المادة أكثرها فضاء خالٍ ليس – على الأقل – بعيدًا عن الصدق. والواقع أننا قد نكون أسوأ حظًا منهملأن إلكتروناتنا ليس لها مواضع معينة بل احتمالات فحسب، ونحن نجد أنفسنا مع عالم أكثره ثغرات مشغولة بأشياء لا نعرف أين هي على وجه التحديد.

وفي هذه الظروف لا نملك أن نتساءل إلى أي حد يمكن اعتبار المادة التي يتكلم عنها علم الفيزيقيا خليقة بأن تعد «حقيقة» مهما نفرنا من الخوض في بعض الاعتبارات الفلسفية التي لا تتلاءم مع التربية العلمية وعاداتها العقلية، ويبدو للكاتب أن هناك مراحل متعددة للحقيقة، فما يراه الإنسان فعلًا تكون له حقيقة حالية في لحظة الرؤية لا وسيلة للإفلات منها، ولا يهمنا إذا ظهر بعد ذلك أنها كانت حلمًا أو تخريفًا، فالرؤية على الأقل كانت حقيقية.

والمرحلة الثانية تأتي عندما يحاول الانسان تجميع مرئيات متفرقة ويكون منها شيئًا، فما يسميه الإنسان كرسيًا مثلا هو في الحقيقة تركيب لعدد كبير من الانطباعات المتفرقة مرئية وملموسة لهذا الكرسي، مصحوبة بذكريات لما يحكم عليها الإنسان أنها كانت أشياء مشابهة. ولكي نزيد في تحديد النقطة نقرر أن ما يراه الإنسان فعلًا من وجهة نظر معلومة هو صورة منظورة للكرسي على شبكية العين، وتختلف قليلًا لدى كل عين من عيني الرائي لاختلاف نقط نظرهما قليلًا، وهذه الصور تتغير كلما قرب الإنسان من الكرسي، والعقل بدلًا من أن يتناولها على أنها سلسلة كشريط فن سينمائي يخلق إدراكًا لجسم جامد ذي ثلاثة أبعاد، وطبقًا للهندسة الإقليدية يتكونهذا الجسم طبقًالطريقة معينة، ولا تحتاج حقيقة إدراكه إلى أن يمس لكي يلائم الإحساسات من أي موقع آخر، ولكن الكرسى قد يكون انعكاسًافي مرآة، وفي مثل هذه الحالة يحكم الإنسان بفطرته السوية أنه غير حقيقي لأنك إن حاولت أن تقترب وتمسه

تلقيت إحساسات لا تتفق مع الشكل المتصور. فمن الضروري أن نضع فرضًا أشد تعقيدًا ونتصور مرآة وكرسيًا حقيقيًافي جهة ما أخرى.

وإنما أوردنا هذا كله لنبين أن الكرسي كما نعلمه بالفطرة السوية، على عكس ما نتلقاه عنه بإحساس مفرد، هو تجريد هندسي يشيد في العقل ليوحد بين الإحساسات ويجعل في الإمكان تناولها بكيفية معقولة مفيدة. والواقع أن الكرسي، كما يصفه العالم الفيزيقي، المركب من إلكترونات وبروتونات يتفق تمام الاتفاق مع هذا الرأي، فهو تجريد مختلف ويؤكد نقطًا متباينة، وهو يصلح لأن يكون كمثل لأنواع مختلفة من الأعمال، ولكنه من حيث مبلغ ما فيه من حقيقة يدعنا مكتوفي الأيدى ليس لنا من خيار.

فالعالم الفيزيقي يبغى نظامًا للأشياء يعينه على التنبؤ بنتائج أية تجربة يمكن تصورها، ونتيجة التجربة معناها إدراك حسي يشعر به إنسان ما، والشروط الضرورية معروفة للرجل الذي هيأ التجربة للعمل من مدركاته الحسية، ونحن بحاجة إلى قاعدة تنقلنا من وضع من المدركات الحسية إلى غيره. وقد تكون هذه القاعدة قانونًا رياضيًا يربط بين رموز، ولكن مع هذه الرموز يجب أن يوجد كذلك نوع من القاموس يترجم المدركات الحسية الابتدائية إلى الرموز الملائمة عند بدء العمليات الرياضية، كما يعود فيآخر العملية فيترجم الرموز النهائية مرة أخرى إلى مدركات حسية، والحاجة لهذا القاموس هيالتي تجعل علم الفيزيقيا دون

شك وعلى وجه الدوام شيئًا أكثر من مجرد فرع خاص من فروع الرياضة.

ولكن على الرغم من أن القاعدة الرياضية تكفي للتنبؤ وأنها في الواقع الهدف النهائي للعلوم، فإنها في ذاتها اداة للبحث غير ملائمة متى كان الموضوع في حالة لم تنته بعد، فاكتشاف ظواهر جديدة يجب أن يكون عملية تجريبية، والباحث يعينه كثيرًافي حسن اختيار الخطوة التالية للمحاولة أن يكون في عقله نموذجًا عمليًا مهما كان غير دقيق، لما هو جار بالفعل، فهذا يوحي عن طريق التمثيل أو المقابلة بتجارب ممكنة ونواحٍ جديدة للمعالجة وهو ما تعجز عنه غالبًا العبارات الرياضية الشكلية التي تقرر ما ثبت بالفعل إلى ذلك الحين، وفكرة الإلكترونات والبروتونات تتصل بالمعادلة الرياضية النهائية كصلة الكرسي المعروف بالفطرة السوية بالصورة الزرقاء التي يصنع بمقتضاها، ولكل من الفكرتين الحق في أن تعتبر حقيقة طالما أنه لم تنشأ إحساسات لا تتماشى معها.

ولا شك أن تجارب مسيرات ولسن في خزانته السحابية وومضات الأشعة السينية تظهِر بجلاء حق الذرات في أن تعتبر حقيقة لدى الفطرة السوية، ويبدو من المجافي للمعقول أن ننكر حقيقة كيان ما يترك توقيعه خلال الهواء وكأنه آلة كاتبة مصغرة للسحب. وما دمنا نلتزم الذرات فلا تكاد تكون هناك حاجة لتغيير أية تصورات عادية، فالذرات تتراص في البلورات وفق ترتيبات محددة تشبه الكرات لها قدر معين، وفي التحليل بالأشعة السينية «نرى» الذرات في صورة تختلف قليلا جدًا عن

الصورة التي قد نرى بها البكتيريا تحت الميكروسكوب، فنستطيع أن نقرر على وجه التحقيق أي الذرات تتجاور في جزيء وأيها تتباعد كثيرًا، فهناك على وجه الإجمال روح نظام وأناقة تسود مسلكها.

وإذا انتقلنا لمرحلة أبعد، إلى الإلكترونات التي تكونها صارت الأمور أشدد غموضًا، فإذا كان لها في الذرة مواضع وأفلاك معينة فيبدو أنها تكون على الدوام بعيدة عن منال الملاحظة المباشرة، وأدق أجهزتنا تعتبر شديدة الخشونة لمثل ذلك، ولكي نصف سلوك الأمواج التي تصحبها في الذرة نحتاج إلى افتراض فضاء متعدد الأبعاد، ولكن حتى في هذا يتبقى بعض مظاهر السلوك المهذب، فلحكمة ما تكون بعض الإلكترونات قريبة من النواة وبعضها بعيدة عنها، أي أن لكل منها مأوى محببًا، والإلكترونات تحتفظ بفرديتها عن طريق أرقام كمتها أما الإلكترون الطليق فأفضل حالًا، فأمواجه تكون في أبعاد ثلاثة، وإذا كان موضعه أو سرعته بالضرورة أقرب إلى الشك فيندر أن يصل هذا الشك إلى درجة تجعله ذا بال.

ولا نكاد إلى اليوم نعرف عن بنية النواة ما يكفي للقول إذا كان من الممكن إيضاحها بالآراء الهندسية العادية أو أن خواصها ستحتاج لتناول أشد تجريدًا، فهي الجزء من الذرة الذي نعرف عنه أقل مما نعرفه عن باقي الأجزاء، وهي الجزء الذي يسوقنا علمنا به إلى نتائج ذات أهمية عملية بالغة لأن هذا هو الجزء الذي نجد فيه الطاقة الذرية وتحول العناصر بعضها إلى بعض.

ومن الوجهة الفلسفية، تعتبر أهم خصائص ميكانيكا الكمة الحديثة هي نزعتها القوية للبعد عن الحتمية، فمن عهد نيوتن كان مسلمًا به تقريبًا،في المادة الميتة على الأقل، أن كل جسم يتحرك طبقًا لقوانين معينة دقيقة، وكان يظن أنه إذا عرف بالدقة الوضع الابتدائي والسرعة لكل جسيم من مجموعة خالصة من المؤثرات الخارجية، وإذا وجدت القوانين المناسبة فإنه من الممكن نظريًا على الأقل أن نحسب وضع كل جسيم في أى وقت تالٍ، أي أن المسلك الكلي للمجموعة محدد محتوم. حقيقة أن هذه الحتمية عدلت عندما دخلنا في نطاق الحياة العملية لأنه لا توجد مجموعة تكون أبدًا خالصة من التأثير الخارجي، والاضطلاع بحساب حركة البلايين من الجسيمات التي تتألف منها أصغر هباءة من المادة كان مهمة بعيدة عن الإمكان البشري بعدًا ليس وراءه أمل، ومع هذا فقد كان هناك إيمان بأن الإمكانية النظرية حقيقة صادقة مما اضطر الراغبين في الإيمان بحرية الإرادة للكائنات البشرية أن يقترضوا شيئًا من التفرقة الأساسية العميقة بين سلوك الذرات في مخ الإنسان أو أعصابه وبين سلوك نفس الذرات وهي تؤلف جزءًا من مادة ميتة.

ووجهة النظر الأحدث تجعل هذا غير ضروري، فأكثر قوانين الفيزيقا الذرية يعبر عنها كاحتمالات تصير بطبيعة الحال يقينية إذا كان هناك عدد كافٍ من الحوادث المستقلة لها شأن في جعل الإحصاءات تصدق عليها.

فمثلاً هناك فرصة لدى ذرة معينة من الراديوم لأن تتفكك إلى هيليوم ورادون خلال يوم محدد، كذلك إذا صدم شعاع المهبط أو الكاثود ذرة كانت هناك فرصة محققة لأن يؤينها، وبالضرورة ليست حوادث المصادفة بالأمر الجديد، ففي « زهر النرد» مثلًا يكون الحكم على ظهور وجه خاص فيه أمرًا متروكًا للمصادفة، ولكن هذا لا دخل له بالحتمية لأن لدينا من الأسباب القوية ما يجعلنا نؤمن بأنه في الواقع لو عرف كيف يقع الزهر في الطاولة وكيف رُمي لكان في الإمكان تعيين الوجه (بصورة حتمية) الذي سيظهر بواسطة القوانين المحددة للديناميكا العادية،و«المصادفة» في هذه الحالة ليست إلا تعبيرًا عن جهلنا بتفاصيل الحركة، وألعاب الحظ توضع بحيث تكون الواقعة التي يقوم عليها الرهان واقعة تتعين بأسباب من الصغر بحيث يصعب التحكم فيها أو السيطرة عليها، فإذا كانت مائدة الروليت تدار دائمًا بنفس السرعة تمامًا والكرات ترمى بآلة لها الدقة الكافية فإنها ستقف دائمًا عند نفس الرقم، ولكن الدقة المطلوبة ستكون من العظم بحيث تكون خارج نطاق تحكم البشر وهيمنتهم كلية، وتبدو المصادفة نتيجة عدم اليقين في حركات مدير اللعبة.

وطبقًا للرأي القديم، ينبغي أن تصدق مثل هذه الحجة على الأحدث الذرية، فإذا كنا لا نستطيع أن نقرر ما إذا كانت ذرة الراديوم ستنحل اليوم أو بعد ألف سنة من الآن، فإن ذلك يرجع إلى أننا لا نعلم علمًا كافيًا عما يجرى في داخل نواة هذه الذرة المعينة (وقد يكون فيما يحيط بها)، فالأمر لدى علماء الفيزيقيا القائلين بالمذهب القديم ليس إلا

مسألة جهل بالبيانات الضرورية، ولكن هنا يقوم الفرق الأساسي، فحيثما لا تقوم حدود نظرية للدقة التي تقاس بها الظروف الأصلية يكون للحتمية معنى، ففي أية حالة معلومة يستطيع الإنسان أن يأمل بزيادة الدقة أن يزداد قربًا من الحقيقة وأن يصل في النهاية إلى درجة من التحكم تجعل التنبؤ عن ذرة معينة من ذرات الراديوم مثلًا أمرًا يقينًا.

أما طبقًا لوجهة النظر الجديدة، فهناك حدود نظرية للدقة في تعيين الأوضاع عند البداية، فإذا تعين وضع جسيم ما بدقة بالغة كانت كمية التحرك فيه محل شك كبير وبالعكس، وحاصل ضرب مقداري الشك يكون على الدوام حوالي **h** ، و **h** هذه شديدة الصغر، وهذا القيد إنما يلحظ بالمقياس الذري أو في الواقع بالمقياس الإلكتروني، ولكنه هناك يكون ذا شأن كبير، وهذا يقطع الطريق على كل حجة للحتمية، فحتى لو ابتكرت قوانين دقيقة لتحل محل قوانين الاحتمال الحالية فإن المقدرة على اختيارها تكون غير ممكنة، فلا نستطيع قط أن نقرر ما إذا كانت في الواقع صادقة لأن عدم التعيين الذي لا مفر منه في القياسات التجريبية من الكبر بحيث لا يمكن الوصول بحال إلى شيء من الدقة في التنبؤ عما يجب أن يحدث لو صح القانون. ويبدو من المحتمل في الوقت الحاضر وضع قوانين دقيقة معادلة لقوانين الاحتمال، أما إذا كانت مثل هذه القوانين جديرة بأن توضع أولًا فأمر آخر وهو أقرب كثيرًا لأن يتبع نفسية المفكر، ولكن على أية حال ما دامت هذه القوانين لا يمكن أن توضع موضع الاختبار فإن وجودها مكتوبة على الورق لن يكون حجة على وجود حتمية حقيقة في الوجود.

أما طبقًا للرأي الآخر فهناك عدم يقين كامن، أو مقدرة على الاختيار في الكون، ولكن بتحفظ وهو أن قوة الاختيار تمارس على وجه يجعلها في الجملة خاضعة معينة للمتوسطات، فهناك حوادث معينة تعتبر اختيارات للطبيعة «متساوية الاحتمال»، وإذن فمهما تكن هناك من اعتراضات ميتافيزيقية على حرية الإرادة فإنه ليس هناك حجج طبيعية ضدها، فتستطيع الإرادة الحرة للإنسان أن تسيطر على ما يحدث في قليل من الذرات تعتبر بمثابة المفتاح الرئيسي، وهذه بدورها تسيطر على التاريخ المستقبل للعقل والجسم.

ومما لا شك فيه أن المادة الحية، وربما كان المخ أعظمها جميعًافي ذلك، تكون في حالة توازن شديدة الدقة، بحيث يكون من الممكن أن نتصور أن مسلك إلكترون في حالة حرج داخل ذرة في حالة حرج يمكن أن يسيطر على مجرى الحوادث في العقل وكذلك في مسلك الجسم، وإذا ظن أن هذه الدرجة من التحكم طفيفة جدًا فنستطيع أن نتابع إدنجتون في افتراضه أن قانون المتوسطات موقوف في حالة العقل،فالحوادث التي يظن عادة أنها مستقلة قد تكون كذلك، وبدلًا من أن تتوزع خبط عشواء بين احتمالاتها المختلفة تتجمع بكيفية منتظمة، وهذا الرأي يفترض وجود فرق شاسع بين المادة الحية والمادة الميتة أو على الأقل بين المادة الواعية وغير الواعية، ولكن هذا الفرق قد لا يكون أكثر مما توحي به التجربة العادية، وإنه لمثل فريد لوحدة التفكير أن دراسة تبدو في ظاهرها بعيدة عن العاطفة الإنسانية كالفيزيقيا الذرية يكون لديها شيء كثير تقوله عن إحدى المشاكل الكبرى للروح.

الدليل

المصطلحات

A

Absorpation امتصاص

accelerating تعجيل

alkaline earth قلويات أرضية

amplitude اتساع

analogy تمثيل أو تشبيه

anode أنود أو مصعد

atom ذرة

atomic number عدد (أو رقم) ذري

attraction جذب أو تجاذب

B

Background خلفية (أو راء)

band شريط

beats ضربات

bindind energy طاقة الربط

bomb قنبلة

bombarding قذف

bond (or link) رباط

c

capture	أسر (أو استيلاء)
cascade	تسلسل (أو تعاقب) متضاعف
cathode	كاثود (أو مهبط)
chain – recation	تفاعل متسلسل
chmber	خزانة
chance	صدقة أو مصادقة أو احتمال
characterictic	مميز
charge	شحنة
class	طائفة (أو فصيلة)
collisions	اصطدامات
by commonsense	بالفطرة السليمة (أو السوية)
coponents	مركبات
compound	مركب
conception	إدراك (أو تصور) ذهني
constitituents	مكونات (أو مقومات)
continuous	متصل أو متواصل أو مستمر
control	هيمنة (أو تحكم)
corpuscular	جسيمي
cosmic	كوني
cracking	تكسير

crest قمة

crystal بلورة

D

Dark مظلم (الضوء) – قائم (في اللون)

deflection انحراف

determinate حتمي

determinisn الحتمية أو التحديد أو المحدودية

diffraction حريد

disintgration تفتت أو تحطم

disruption تشتت

disruption ممزق (أو تمزيق)

dissimilarity تباين

dissociating تفكك (أو تحلل)

distcrted مشوه

diverged تشعب (أو تفرق) أو متفرق

diversity تنوع

doublebond رباط مزدوج أو ثنائي

drop قطرة

E

E ش أو ش (شحنة إلكترون)

effects آثار

electralysis تحليل بالكهرباء
electron إلكترون
electroplating طلاء بالكهرباء
elemnt عنصر
emission انبعاث (أو انبعاث) الأشعة
enclosure حيز معزول (أو منعزل)
energy طاقة
energy level مناسيب الطاقة أو مستوياقما
entity كيان أو كل
ether أثير
examined مختبر
exclusion العزل أو التجنيب
experessions عبارات أو تعبيرات

F

filamnets خيوط (أو فتائل)
fission انشطار
flash ومضة (أو لمعة)
florine فلور
florescent فلوري (أو فلورية)
formations تكونات (أو تكوينات)
formule صيغة

frequency تردد

G

Grating محززة – محزوز

H

Harmonic توافقي

heteropolar متغاير القطبية

homopolar متجانس القطبية

hypothetical افتراضي

I

Ice جليد (أو جمد)

index number عدد دليلي

inert خامل (أو خامد)

infra – red دون (أو تحت الحمراء)

intensity شدة

interference التداخل

ionisation تأين

iradation التشعع أو التعرض للأشعة

isolation عزل

isotope نظير (جمعها نظائر)

J

jerky ارتجافي

L

Lattic شباكة أو شبكة

law of constant proportion قانون النسب الثابتة

law of multiple proportion قانون النسب المتضاعفة

law of reciprocal proportion قانون النسب المتبادلة

light ضوء

limitation تحديد (أو تقييد أو قصور)

luminosity توهج

Link ، **see bond**

M

Machine مكنة

mantles شبكات (أوتاين)

materialization التجسيد المادي

matter مادة

medium وسط

mist ضباب

moderator مهدئ (أو ملطف)

molecule جزيء

multiplication تضاعف

N

Nature فطرة أو طبيعة

neutral متعادل

nirvana غيبوبة

nodal عقدي

nucleus نواة

seeatomic ،atomic ، Numbers

O

obstacle حائل

opaque معتم

p

particle جسيم

path ممر (أو مسير)

pattern نمط

peculiarity خاصية معينة (أو صفة مميزة)

perception إدراك حسي (أو مدركة أو إحساس)

period دور – فترة

periodic table الجدول الدوري

phase طور

physics فيزيقيا (أو فيزياء)

piles أعمدة ذرية (أو مفاعلات ذرية)

plating ،electro، see electro

potential جهد

probability احتمال

proton بروتون

Q

Quantum كمة

quantum theory نظرية الكمة

R

Radiations إشعاعات

radioactive مشع

radioactivity نشاط إشعاعي

rang مدى

see x ، x ،Reys

reflection انعكاس

release إطلاق

repulsion تنافر (أو طرد)

resonance رنين

see x rays ، rays ،Rontgen

S

scattering	استطارة
scintillation	تلألؤ أو وميض
،screen	ستار أو حاجز
shell	قشرة أوطبقة
shower	وابل أو همرة
size	قدر (أو قد أو حجم)
smashing	تحطيم
soft	طري أو لين
solid	جامد أوصلب
space	فضاء
spacings	تباعدات
speck	هباءة
spectroscope	منظار طيفي أو مطياف أو (سبكتروسكوب)
spectrum	طيف
speed	انطلاق (أو سرعة بلا اتجاه)
spinning	درار
splitting	انفلاق
stability	استقرار
standard	معيارأو أمام
stationary state	حالة سكون
steady	مستقر أو ثابت

stray شارد

stripping اقتلاع

structure بنية

superpositions تراكب

symmetry تماثل

synthesis تركيب (أو تجميع أو تخليق)

T

see periodictags،periodic،tableذوائب – ذيول

tension توتر (أو شد أو تضغط)

thermodynamics الحراريات (أو الديناميكاالحرارية)

threshold مطلع

see path،trash مسير (و أثر أو مسند أو مسرب)

transformation تحول

transmutation تناسخ

tralsiet عارضة (قصيرة العمر) أو انتقال عابر

transparency شفافية

tripple رباط ثلاثي

trough قاع

U

untra-violet فوق البنفسجي

undulations orvibrations تموجات أو تذبذبات

V

v particles	جسيمات **v**
valency	تكافؤ
velocity	سرعة (لها اتجاه)

see undulation،Vibration

W

wave	موجة
wave length	طول موجي
wave theory	النظير الموجي

X

x– rays	أشعة إكس أو أشعة سينية أو أشعة رونتجن

الفهرس

الذرة

هذا الكتاب :

توالت التجارب بشكل كبير لدراسة الذرة، ، ففي عام 1897م اكتشف العالم "طومسون" الإلكترون ذو الشحنة السالبة، مما أدى لتغيير جذري في الاعتقادات السابقة ، كما توصل "طومسون" إلى أن الذرة متعادلة كهربائياً، ومُصمتة، وموجبة الشحنة، وتتخللها الإلكترونات السالبة ، وسُمي هذا النموذج باسمه، الذي ساهم في فهم الذرة فهماً جديداً واسعاً ، وفي عام 1911 م قدم العالم "راذرفورد" النموذج النووي للذرة، وأثبت وجود النواة .

وبما أنّ الذرّة هي وحدة بناء الكون، فكان ولا يزال أمرها يشغل بال العلماء حتى الآن، ولذلك توجه الكثير من العلماء لدراستها وقاموا بعمل نماذج توضح كيفيه بناء الذرّة، ومكوناتها؟

يسعي هذا الكتاب ، الذي كتبه سير جورج باجيت طومسون ، للإجابة عن بعض هذه الأسئلة ، وقد نشر لأول مرة عام 1930 م ثُم أخرج الطبعة الثانية عام 1937 م؛ والثالثة عام 1946 م؛ والرابعة عام 1954 م ، لذا استمتع بهذا الكنز الذي بين يديك فهو إرث علمي يشرح تاريخ الذرة بالتفصيل.